

AT820190

C578
(702)
26



PRESS HOLDINGS Ltd

PROJET CAFEIER DE MSESE

ETUDE MORPHO-PEDOLOGIQUE

APTITUDES DU MILIEU NATUREL
A L'IMPLANTATION D'UN COMPLEXE CAFEIER

M. RAUNET
1981

I.R.A.T.

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIERES

S.O.D.E.T.E.G.

SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES
ET D'ENTREPRISES GENERALES



PRESS HOLDINGS Ltd

PROJET CAFEIER DE MSESE

ETUDE MORPHO-PEDOLOGIQUE

APTITUDES DU MILIEU NATUREL
A L'IMPLANTATION D'UN COMPLEXE CAFEIER

M. RAUNET
1981

I.R.A.T.

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIERES

S.O.D.E.T.E.G.

SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES
ET D'ENTREPRISES GENERALES

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1 - OBJET DE L'ETUDE	1
2 - LOCALISATION DU PROJET	1
3 - EXTENSION GEOGRAPHIQUE ET DELIMITATION DU PERIMETRE	1
4 - ASPECT PHYSIOGRAPHIQUE GENERAL	2
5 - CONCEPTIONS, METHODES ET CONDITIONS DE TRAVAIL	3
PREMIERE PARTIE : LES COMPOSANTES DU MILIEU NATUREL	5
1 - CLIMAT	5
2 - VEGETATION	8
2.1. Les boisements à <i>Brachystegia</i> , <i>Julbernardia</i> , <i>Uapaca</i>	8
2.2. La savane arbustive à <i>Protea</i>	9
2.3. Les lambeaux forestiers	10
2.4. La savane arbustive "intermédiaire"	10
2.5. Les "tapis de plantules"	11
2.6. La végétation des bas-fonds ("dambos")	11
2.7. Les zones cultivées et les jachères	12
3 - GEOLOGIE	13
4 - GEOMORPHOLOGIE	15
4.1. Le dégagement des reliefs résiduels	15
4.2. Le façonnement des glacis de piémont	16
4.3. Ferrallitisation et "défonçage" des glacis de piémont, formation des bas-fonds	17
4.4. L'évolution récente et actuelle	18
5 - REGIMES HYDROLOGIQUES	20
5.1. Les eaux de nappe des fractures du socle	20
5.2. Les nappes phréatiques d'altérites	21
5.3. Régimes hydrologiques des bas-fonds	21
5.4. Structure du réseau hydrographique	22
5.5. Appréciation des ressources en eau	24
DEUXIEME PARTIE : LES UNITES MORPHOPEDOLOGIQUES ET LEURS APTITUDES A LA CULTURE DU CAFEIER	26
1 - LES AFFLEUREMENTS DE GRANITE	26
2 - LES VERSANTS TRES PENTUS DES RELIEFS RESIDUELS	27
3 - LES DOMES GRANITIQUES	28
4 - LES SOLS FERRALLITIQUES DES PARTIES INFERIEURES DES DOMES GRANITIQUES	29
5 - LES SOLS FERRALLITIQUES PROFONDS	31
6 - LES SOLS FERRALLITIQUES LEGEREMENT TRONQUES	34
7 - LES SOLS FERRALLITIQUES TRONQUES	36
8 - LES VERSANTS CONVEXES ESCARPES	39
9 - LA TERRASSE ANCIENNE	39
10 - LA FRANGE HYDROMORPHE DES BAS DE VERSANTS	40
11 - LES BAS-FONDS	41

TROISIEME PARTIE : MISE EN VALEUR - AMENAGEMENTS	44
1 - DISPONIBILITES EN TERRES - DISPOSITION DU PARCELLAIRE	44
2 - CONSERVATION DU SOL - LUTTE CONTRE L'EROSION	46
2.1. Travaux de défrichement et de préparation de terres	46
2.2. Densité de plantation	46
2.3. Couverture des interlignes	47
2.3.1. Le paillage	47
2.3.2. Les plantes de couverture	47
2.3.3. Les cultures vivrières entre les lignes	48
2.4. Les aménagements : banquettes, levées, fossés, routes	48
2.4.1. Système de banquettes et levées	48
2.4.2. Les chemins d'eau	49
2.4.3. Les routes	49
3 - L'IRRIGATION	49
3.1. Phénologie locale du caféier, périodes de besoins en eau	49
3.1.1. Pratiques traditionnelles	49
3.1.2. Périodes d'irrigation en culture industrielle	50
3.2. Besoins en eau	50
3.3. Pratique de l'irrigation	51
3.3.1. Doses d'irrigation	51
3.3.2. Fréquence des arrosages	52
3.3.3. Systèmes d'irrigation	52
3.4. Ressources en eau - Possibilité de retenues	53
4 - LUTTE CONTRE LES EFFETS NEFASTES DU VENT	55
5 - FERTILISATION	56
CONCLUSIONS	58
BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE	60
ANNEXES : DESCRIPTIONS ET ANALYSES DE SOLS	

INTRODUCTION

1 - OBJET DE L'ETUDE

Le projet SODETEG (France) - PRESS HOLDINGS Ltd (Malawi) consiste en la création et l'exploitation, dans la région de Msese, 80 km au Nord de Kasungu, d'une plantation industrielle de caféiers Arabica, sur un à trois milliers d'hectares. A la suite d'une première visite d'identification (A. JALOGNE 1981), il a été décidé de réaliser un dossier de faisabilité du projet ; l'évaluation technique comprend en particulier l'inventaire du milieu naturel, ses disponibilités en terres, la qualité et la répartition spatiale de celles-ci, les contraintes rencontrées.

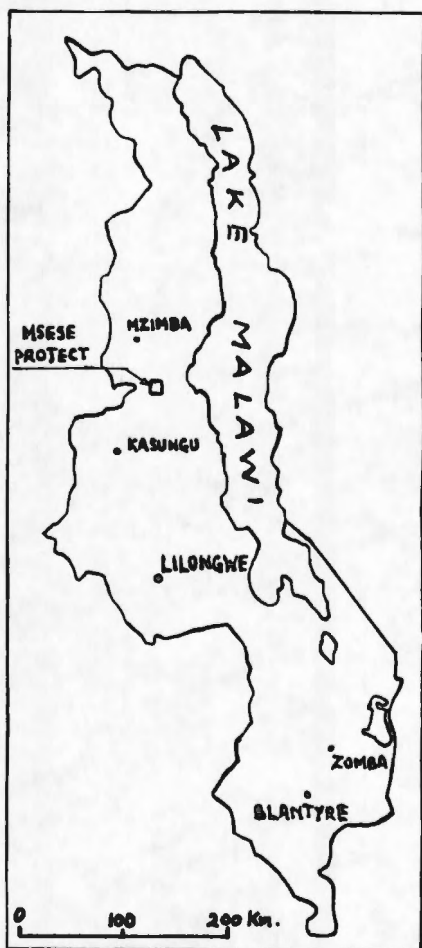
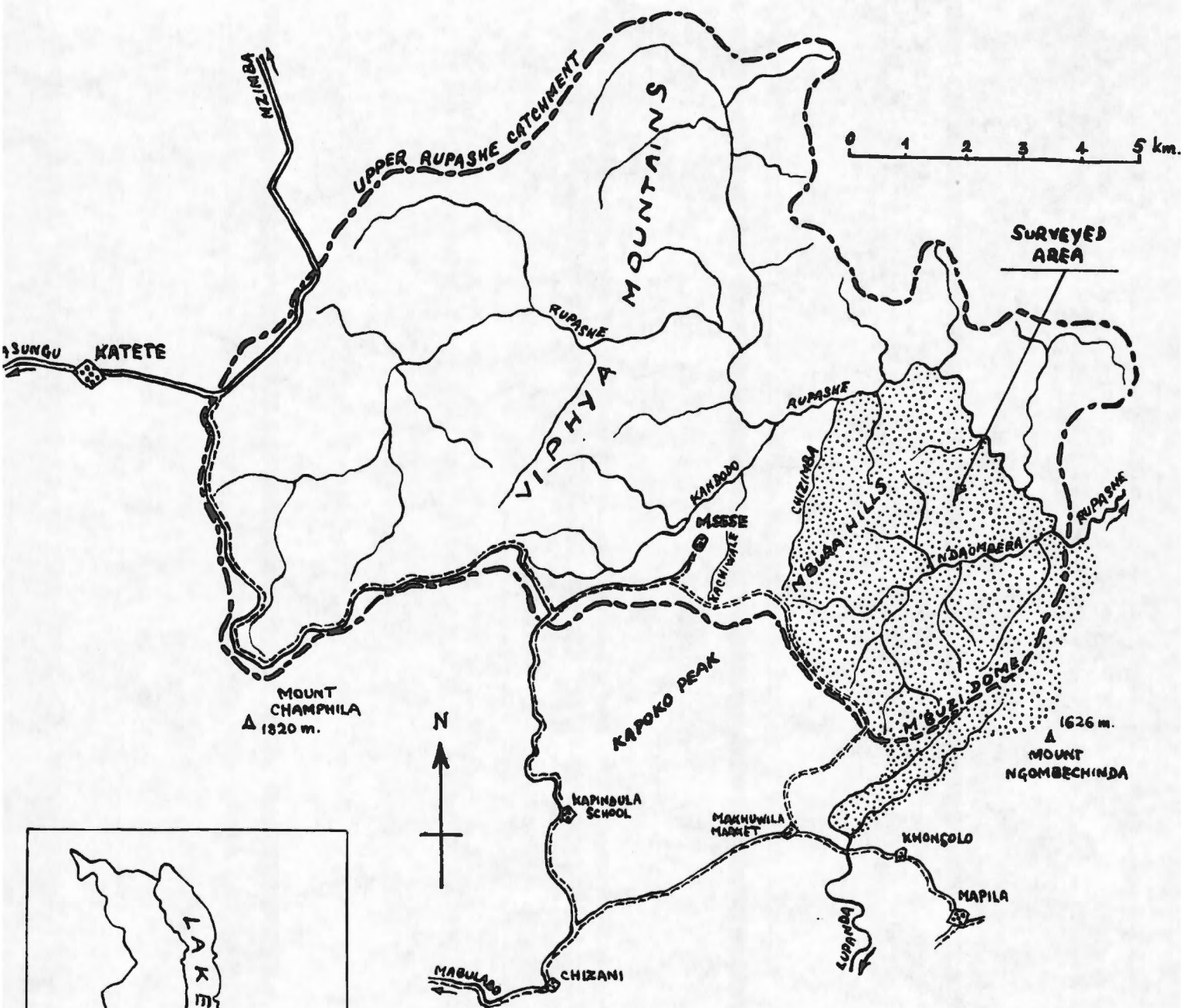
La présente étude réalisée par l'IRAT (Institut de Recherches Agronomiques Tropicales - France) à la demande de SODETEG, du 15 Octobre au 13 Novembre 1981, tente de répondre à ces questions.

2 - LOCALISATION DU PROJET

Le projet caféier de Msese est situé dans le Centre Nord du pays, dans le district de Mzimba, environ 80 km à vol d'oiseau au Nord de Kasungu et 10 km à l'Est du village de Katete. Administrativement Msese (école) dépend directement du village de Mabulabo au Sud. Nous sommes à l'extrémité méridionale des Monts Viphya, sur le bassin versant de la Haute-Rupashe, rivière qui draine vers le lac Malawi. L'altitude se situe aux alentours de 1400 mètres.

3 - EXTENSION GEOGRAPHIQUE ET DELIMITATION DU PERIMETRE

A l'origine, la région à étudier à l'Est de l'école de Msese correspondait aux 3000 hectares pour lesquels avait été réalisée la carte topographique à l'échelle du 1/10.000 par photo-restitution (Aerial Surveys Africa. PVT Ltd. Zimbabwe) en Avril 1981. En cours de prospection, il s'est avéré cependant qu'une grande partie des terres initialement délimitées était en réalité inutilisable pour la culture industrielle du café. Nous avons alors, à la demande de PRESS-HOLDINGS et de SODETEG, agrandi le périmètre, aux régions immédiatement environnantes ayant à priori une proportion importante de bonnes terres convenant au café en grande culture irriguée. La localisation de cette extension s'imposait d'ailleurs d'office à l'Ouest (jusqu'à la piste Msese-Makhuwila) et au Nord-Ouest (rive droite de la Chizimba) du périmètre initial ; partout ailleurs, les contraintes du milieu



LOCATION MAP

pour l'utilisation envisagée s'avèrent en effet, dès le départ, rhédibitoires.

En définitive, 4500 hectares, au total, ont donc été inventoriés et cartographiés à l'échelle du 1/20.000. Une partie (3000 hectares) est reportée sur le fond topographique résultant d'une réduction au 1/20.000 de la carte topographique au 1/10.000 (courbes de niveau tous les 5 mètres) réalisée par "Aerial Surveys Africa Ltd". L'autre partie (1500 hectares) n'a pas de fond topographique.

La région cartographiée s'étend sur la rive droite de la rivière Rupashe. La plus grosse partie est représentée par la totalité du bassin versant de la N'daombera (2340 hectares), affluent de droite de la Rupashe ; la confluence de ces 2 cours d'eau se trouve à l'extrémité aval-Nord-Est du périmètre. La limite Nord est la rivière Rupashe, la limite Nord-Ouest correspond à la petite rivière Chizimba (affluent de la Rupashe) ; à l'Ouest, la piste Msese-Makhuwila ferme le périmètre ; enfin la limite Sud-Est est formée des dômes granitiques allongés de M'buzi et du Mont Ngombechinda, régions fortement disséquées par un réseau hydrographique tributaire de la Rupashe orienté NE-SW, sous l'influence de la structure et de la lithologie du substratum.

4 - ASPECT PHYSIOGRAPHIQUE GENERAL

La pluviométrie est de l'ordre de 1000 mm ; la saison sèche est accentuée et dure de Mai à Novembre ; les températures moyennes sont comprises entre 15 et 21° C (60 à 70° F) et il n'y a pas de gel. Les vents d'Est sont permanents en saison sèche et particulièrement forts en Octobre-Novembre. Ces conditions climatiques sont assez satisfaisantes pour le café à condition de prévoir une irrigation de complément et une protection contre les vents pour diminuer l'ETP et les dégâts mécaniques.

Le substratum géologique est constitué de roches métamorphiques précambriennes (micaschistes, gneiss, granito-gneiss, granites) dont la disposition structurale et les différences d'altérabilité sont responsables du modelé actuel.

Ce modelé est "armé" par 2 lignes de reliefs granitiques orientées NE-SW, constitués par les collines de M'Bura au Nord-Ouest, les dômes de M'Buzi et le Mont Ngombechinda au Sud-Est. Ces granites plus durs que les roches environnantes, forment des reliefs résiduels à affleurements rocheux discontinus ; entre ces 2 échines s'étendent des "alvéoles" sous tendus par des gneiss et micaschistes plus tendres et à altération plus épaisses façonnées en vastes glacis de piémont. Ceux-ci ont été par la suite disséqués en plateaux et lanières, "convexisés" et très pentus sur leurs bordures ; ils dominent des bas-fonds plats ou concaves marécageux ("dambos") encaissés, sans cours d'eau individualisé, correspondant au niveau de base de la nappe phréatique d'altérite située sous tous les interfluves et drainée par la Rupashe.

Les sols sont soit des sols ferrallitiques rouges bien drainés résultant d'une ancienne pédogenèse sous conditions forestières plus humides qu'actuellement, soit d'anciens sols ferrallitiques, qui depuis, ont été tronqués à un niveau variable (dans l'horizon B rouge ou dans la zone d'altération) et pour lesquels le régime hydrique actuel entraîne une évolution plus défavorable ("dégradation") pour l'utilisation agricole. L'aptitude des sols pour le café dépend essentiellement de ce degré de troncature.

La végétation naturelle est, dans certaines parties du périmètre (au Sud-Est en particulier), un boisement assez dense à *Brachystegia-Uapaca* ; une grande partie est occupée par une savane arbustive basse à *Protea madiensis* et à grandes graminées : *Hyparrhenia*, *Loudetia*, *Heteropogon*. Quelques îlots de forêt relique à gros arbres coiffent certains sommets d'interfluve. Une bonne partie des terres a déjà été cultivée (jachères arbustives) ou est cultivée essentiellement en maïs, secondairement en manioc, haricots ...

5 - CONCEPTIONS, METHODES ET CONDITIONS DE TRAVAIL

Nous avons élargi le concept strictement pédologique en intégrant l'ensemble du milieu naturel, dont toutes les composantes sont interdépendantes : types d'altération, pédogenèse actuelle, modelé, lithologie, structure géologique, végétation, régimes hydriques et hydrologiques, etc ... Pour une bonne compréhension des différents types de milieu et leur cartographie, l'analyse géomorphologique s'est avérée essentielle, tant du point de vue des processus anciens que récents ou actuels, qui conditionnent la nature et la répartition des sols. Les intensités et modalités des processus géochimiques (altérations), morphodynamique (façonnement du modelé, érosion), les circulations de nappes phréatiques et les ruissellements sont strictement liés.

Nous avons donc procédé à une cartographie "morpho-pédologique" (échelle 1/20.000) où les unités représentées dites "unités de milieu" ou "unités morpho-pédologiques" synthétiques sont caractérisées non seulement par leurs sols mais par leurs autres paramètres spécifiques, en particulier le modelé, le substratum, le régime hydrologique, également sources de contraintes éventuelles pour la culture du café.

La prospection s'est déroulée en fin de saison sèche, entre le 15 Octobre et le 13 Novembre, et a demandé 18 jours effectifs de terrain. Les documents utilisés ont été les photographies aériennes à l'échelle du 1/40.000 (MW 6/76 Central Region - Juin-Août 1976, film 3.COS), ainsi que le fond topographique à l'échelle du 1/10.000 (Aerial Surveys Africa. PVT. Ltd. Zimbabwe) d'Avril 1981. Ce fond topographique ne couvre que 3000 ha sur les 4500 prospectés. Les sols ont été caractérisés par l'observation de 132 fosses dont les emplacements ont été choisis par l'examen des photographies aériennes. Les limites d'unités résultent des observations de terrain et de la photo-interprétation, amenant à la compréhension des "clés de répartition". Dix profils de sols représentatifs ont été prélevés à 3 niveaux, pour analyses.

Dans l'étude présente, pour des raisons pratiques et de clarté de l'exposé, nous étudierons d'abord le milieu naturel de façon thématique : climat, végétation, géologie, géomorphologie, hydrologie.

Dans une deuxième partie nous décrirons séparément et en détail les caractères des grandes unités morphopédologiques délimitées sur la carte ; Nous approfondirons l'aspect strictement pédologique et nous préciserons les contraintes existantes ou facteurs favorables pour la culture du café. Nous insisterons cependant à chaque fois sur les interactions étroites existant entre toutes les composantes du milieu, ce qui nous amènera à faire quelques inévitables répétitions.

Enfin, dans la troisième partie nous aborderons quelques problèmes pratiques concernant la mise en valeur et l'aménagement du périmètre.

PREMIERE PARTIE

LES COMPOSANTES DU MILIEU NATUREL

1- CLIMAT

Il n'existe pas de données très précises sur le climat local de Msese, en dehors des pluviométries mensuelles. Concernant les autres paramètres, nous mentionnerons les valeurs estimées les plus vraisemblables compte tenu de l'altitude et d'extrapolations faites à partir d'autres stations.

1.1. Pluviométrie.

A Msese même, nous disposons d'une douzaine d'années d'enregistrements, de 1969 à 1980. Sur cette période, la moyenne annuelle est de 1054 mm ; le minimum enregistré est de 775 mm (1970) et le maximum de 1300 mm (1979).

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
220,5	221,5	230,1	131,1	15,5	4,8	4,6	2,0	3,1	4,6	52,8	162,8	1054

La saison sèche, très accentuée, dure de début Mai au 15 Novembre. De Juin à Octobre, il tombe moins de 5 mm par mois.

L'intensité des pluies peut être forte lors des orages de début de saison des pluies et pendant les "périodes cycloniques" (Janvier-Février). Le Malawi est en effet régulièrement atteint par les cyclones formés dans l'Océan Indien. L'orographie assez accidentée favorise les turbulences de l'air humide (thermo-convection, ascendance orographique) générateurs d'orages à fortes intensités. Des intensités de l'ordre de 100 mm/h ne devraient pas être très rares, avec ses conséquences sur l'érosion dont il faudra tenir compte en culture caféière.

1.2. Températures :

A Msese n'existe aucun enregistrement de températures. On est situé à 12°20' de latitude Sud et 1400 mètres d'altitude. La température moyenne annuelle y est d'environ 18°. La moyenne annuelle des minima est de l'ordre de 12°8, celle des maxima est de 26°.

Le mois le plus chaud est Novembre ; on peut y enregistrer des maxima extrêmes de 30°C. La saison fraîche est située en saison sèche et dure de mai à août. Le mois le plus frais est juin avec des minima absolus qui pourraient atteindre zéro degré. Les gels sont cependant extrêmement rares et durent très peu de temps. Ils ne semblent pas pouvoir affecter la culture du café dans cette région. Par ailleurs les températures sont donc optima pour la culture du café Arabica.

1.3. Humidité de l'air

L'humidité relative est maxima en saison des pluies, entre décembre et mai ; la moyenne mensuelle est alors comprise entre 77 et 86% (max. en janvier-février) ; Au petit matin, l'humidité relative est proche de 90 % ; elle est de 60 % dans l'après-midi. En saison sèche, de mai à novembre, l'humidité relative moyenne mensuelle varie de 54% (septembre) à 70% , avec des minima d'environ 40 % dans l'après-midi et des maxima de 80-90% à l'aube; d'ailleurs en saison sèche les brouillards matinaux sont fréquents. La présence de nombreuses usnées accrochées aux arbres (*Brachystegia*, *Uapaca*) et la présence de bruyères arborescentes (*Philippia*) mélangées à la végétation naturelle boisée, sont des indices révélateurs de "précipitations occultes" non négligeables pendant une grande partie de la saison sèche. Il est cependant difficile d'apprécier dans quelle mesure ces rosées et brouillards peuvent contribuer à l'alimentation hydrique du caféier pendant cette période;

1.4. Les vents

Ils constituent une des contraintes importantes de la région pour la culture du caféier. En saison sèche, spécialement de juillet à novembre, les vents d'Est sont constants, avec des maxima d'intensité en Octobre-Novembre. Ces vents auront deux effets défavorables : d'une part ils contribueront à élever fortement l'ETP pendant la période la plus sèche ce qui très certainement obligera à irriguer ; d'autre part par leurs effets mécaniques, ils peuvent occasionner des micro-blessures aux jeunes caféiers les rendant vulnérables aux attaques cryptogamiques, en particulier la fusariose du tronc, qui s'avère la principale parasitose du caféier dans la région. Sa dissémination est également favorisée par le vent.

1.5. L'évapotranspiration

C'est une donnée climatique essentielle car elle synthétise et intègre la plupart des autres paramètres ; l'ETP conditionne les besoins en eau du caféier, elle permet de calculer le déficit hydrique et les doses d'irrigation.

Les données les plus intéressantes sont celles du bac d'évaporation classe A, car c'est une référence internationale. En général, les besoins du café sont calculés d'après ces valeurs mesurées. En tenant compte des données concernant la région de Lilongwe (1250 mètres d'altitude), on peut, en première approximation estimer celles de Msese (1350 mètres d'altitude) où les vents sont vraisemblablement plus forts ; On arrive ainsi par décade aux valeurs suivantes en millimètres :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
42	38	38	38	38	35	37	45	63	76	72	50	1740 mm
40	36	38	38	37	35	38	49	67	82	67	43	
43	32	43	38	39	35	45	59	73	84	59	47	

Ces estimations ne nous permettent que d'avoir une idée de l'évaporation ; elles sont naturellement très provisoires. L'installation d'un Bac d'évaporation à Msese sera indispensable.

Dans un premier temps les besoins en eau du caféier seront évalués à partir de ces chiffres (voir plus loin).

2 - VÉGÉTATION

Nous sommes ici à la rencontre entre deux grands domaines phyto-géographiques "Zambeziens" : les boisements décidus à *Brachystegia*, *Julbernardia*, *Uapaca* et les savanes arbustives basses à *Protea* et graminées. Un troisième groupement végétal, de moindre importance en étendue, est composé de lambeaux forestiers à feuilles vertes pérennes, caractéristiques de montagne plus humide (plus de 1700 mètres, dans les Monts Viphya), mais que l'on trouve ici à l'état de forêt galerie dans les têtes de vallées, ou d'ilôts très restreints sur certains sommets d'inter-fluves.

2.1. Les boisements (savane boisée ou forêt claire) à *Brachystegia* - *Julbernardia* - *Uapaca*.

A l'état naturel, au Malawi, cette association ligneuse haute se rencontre essentiellement dans les zones montagneuses de moyenne altitude, généralement moins de 1600 mètres.

Il s'agit d'une forêt claire décidue du type "miombo" caractéristique de l'Afrique Tropicale Australe (domaine "Zambezien") : elle est formée essentiellement d'espèces à feuilles composées : *Brachystegia longifolia*, *B. floribunda*, *B. taxifolia*, *B. spiciformis* (plus rare), *Julbernardia globifera*, *Uapaca kirkiana*. Ces forêts claires perdent en partie leurs feuilles. Ce n'est pas général, certains arbres "rougissent" en fin de saison sèche, d'autres gardent leurs feuilles vertes. En sous-bois, se trouve une strate graminéenne à *Hyparrhenia*, *Heteropogon*, *Cymbopogon*. Ces graminées brûlent en saison sèche ; les feux progressent en effet sans difficulté dans la forêt claire, sans endommager les arbres dont les troncs sont résistants. Le sous-bois montre aussi des fourrés de bruyères arborescentes (*Philippia benguelensis*). Les branches des arbres sont ornées de guirlandes d'usnées (*Usnea* spp.). La présence de *Philippia* et *Usnea*, inhabituelles dans le "miombo" classique de plus basse altitude (en dessous de 1350 mètres), indique ici une humidité atmosphérique assez forte et des précipitations occultes (brouillards, rosées) non négligeables même en saison sèche.

Le groupement à *Brachystegia* - *Julbernardia* - *Uapaca* n'est pas spécifique des sols rouges épais bien drainés. Sur le site on le trouve aussi bien sur les dômes "granitiques" à sols riches en sables, souvent tronqués et compacts (M'Buzi) que sur des sols rouges à régime hydrique beaucoup plus favorable (piémonts Sud des collines de M'Bura). Mais on ne les trouve jamais sur sols mal drainés, à nappe perchée, même temporaire, qui eux sont occupés exclusivement par la savane à *Protea* (voir plus loin).

Signalons la présence de quelques très beaux boisements, strictement mono-spécifiques à *Uapaca kirkiana*, de faible étendue, en de nombreux endroits du périmètre, au sein de la savane à *Protea*, mais dans

les endroits toujours les mieux drainés (sommets d'interfluves, bordures d'escarpement, etc ...).

Sur le site prospecté, la forêt claire occupe une partie des dômes (575 ha) de M'buzi au Sud et au Sud-Est, ainsi qu'une petite partie (50 ha) des collines de M'Bura au Centre-Ouest. Ces lambeaux sont en cours de défrichement rapide. Les paysans cultivent directement (maïs) sur brulis, les souches brûlées étant encore en place.

La plus grosse partie des zones encore boisées ne présente pas d'intérêt pour la culture du café. A l'heure actuelle (Novembre 1981), une cinquantaine d'hectares seulement, à l'aval du dôme granitique de M'Buzi peut convenir pour le café, et demanderait donc des travaux de déboisement, d'ailleurs relativement peu onéreux, les arbres n'ayant jamais une très grosse taille.

2. 2. La savane arbustive à *Protea* :

Ce type de végétation occupe une grande partie du territoire cartographié, en particulier les anciens sols ferrallitiques actuellement tronqués et ayant acquis un régime hydrique beaucoup plus défavorable : infiltration ralentie, engorgement temporaire superficiel plus ou moins accentué, écoulement oblique des eaux avec "lavage" de la partie supérieure du sol devenant ainsi plus sableuse.

La strate arbustive est composée presque exclusivement de *Protea madiensis* ; Cet arbuste (toujours vert) est d'autant plus petit et monospécifique que le milieu est "dégradé" c'est à dire que le sol est tronqué et hydromorphe (nappe perchée temporaire) en saison des pluies. Sur les sols très tronqués ils ont en moyenne 1 mètre de haut. Dès que le drainage s'améliore en remontant vers le sommet de l'interfluve, la taille des *Protea* augmente (jusqu'à 3 mètres) et s'y mêlent d'autres espèces telles *Strychnos spinosa*, *Parinari*, *Bridelia*, *Erythrina* ... (voir plus loin).

La strate graminéenne est composée d'un mélange d'espèces que l'on trouve habituellement en montagne à plus de 1500 mètres (*Loudetia simplex*, *Themeda triandra*, *Monocymbium* sp., *Andropogon schirensis*) et d'espèces plus "classiques" de basse altitude telle que *Hypparrhenia rufa*, *Heteropogon contortus* et *Cymbopogon* sp. Toutes ces herbes naturellement brûlent en saison sèche. On trouve également des *Carex*, même sur les versants des interfluves. Ils sont d'autant plus abondants que le milieu est engorgé en saison des pluies par une nappe perchée de versant ; ils caractérisent donc surtout les sols ferrallitiques tronqués. Cependant la présence de cette herbacée hygrophile, observée parfois même sur les sols rouges très bien drainés, indique une forte influence disséminante du vent. Les *Carex*, avec les *Imperata*, vus également en de nombreux endroits sur sols "dégradés", risquent dans cette région d'être les adventices les plus nuisibles du caféier.

2.3. Les lambeaux forestiers :

Des restes de forêt humide toujours verte à feuilles persistantes s'observent d'une part sur certains sommets d'interfluves généralement lorsqu'ils sont bien drainés à.. sols rouges (mais ce n'est pas systématique), et d'autre part sous forme de forêt galerie bordant les parties amont de certaines vallées (en particulier celles situées au piémont oriental des collines de M'Bura).

Les arbres sont grands (plus de 20 mètres) ; on y trouve entre autres : *Diospyros mespiliiformis*, *Polyscias fulva*, *Eckebergia capensis*, *Dombeya rotundifolia*, *Nuxia congesta*, *Parinari curatellifolia*, *Ficus* sp., *Syzygium guineense*. Il n'y a pas de strate herbacée. Ces reliques forestières sont toujours denses, très difficiles à pénétrer, mais sur les "plateaux" elles sont toujours d'étendue très réduite (moins de 100 mètres de large).

Dans les vallées, au pied des collines de M'Bura, elles occupent les parties amont, la plupart du temps jusqu'aux amphithéâtres terminaux, très pentus, occupés par des colluvions de sols ferrallitiques, bien drainés. La forêt galerie disparaît plus en aval, en même temps que le fond de vallée passe au "dambo" (bas-fond) plat et marécageux à pente longitudinale plus faible.

2. 4. La savane arbustive "intermédiaire" :

Ce type de végétation semble résulter de la "dégradation" naturelle de la forêt antérieure, par évolution défavorable du milieu du point de vue hydrique (péjoration du climat, à régime actuellement plus contrasté) ; ce serait donc le passage intermédiaire entre la forêt humide et la savane à *Protea*. Une telle "phyto-séquence", ici fortement tributaire du type de sol et du régime hydrique, s'observe habituellement plus haut en altitude qu'à Msese ; Dans les Monts Viphya plus au Nord, nous l'avons observée à plus de 1600 mètres d'altitude.

Ce groupement végétal est caractérisé par une association lâche de *Protea madiensis* (de plus grande taille que dans la savane monospécifique à *Protea*), *Strychnos spinosa* (fruits comestibles), *Erythrina tomentosa*, *Parinari curatellifolia* et (plus rarement) *Cussonia kirkii* et *Bridelia bridelii*.

Les sols sont en général des ferrallitiques légèrement tronqués, (mais encore à bon drainage interne), situés en position topographique intermédiaire entre les sommets d'interfluves (glacis conservés), à sols rouges et les convexités inférieures de ces interfluves (entailles des glacis), à sols très tronqués et hydromorphie de surface, couverts par des petits *Protea*. Ce dernier type de milieu, lorsqu'il montre des espèces autres que les *Protea*, celles-ci sont toujours situées sur grosses termitières donc à l'abri du régime hydrique défavorable.

Les graminées sont composées d'*Hypparrhenia*, *Heteropogon*, *Loudetia*, *themeda*. Sur les versants pentus (plus de 20 %) des vallées et bas-fonds

et surtout dans leur partie amont, en bordure des forêts galeries, se trouvent des peuplements denses de fougères (*Pteridium*) qui brûlent plus tardivement en saison sèche ou même peuvent ne pas brûler, du fait de leur protection relative contre les vents.

2.5. Les "tapis de plantules" :

Les parties inférieures de certains versants convexes (anciens glacis de piémont actuellement disséqués), sont tapissées de plantules de ligneux très denses, de 10 à 20 cm de haut, toujours vertes même en fin de saison sèche. En général, il n'y a alors aucun arbre ou arbuste et peu de graminées. Les plantules couvrent uniformément le sol. Il s'agit la plupart du temps de sols "dégradés" tronqués, anciens ferrallitiques, compacts et peu drainants à hydromorphie de surface en saison des pluies.

Cette végétation très particulière nous semble être le résultat de la dispersion des graines de ligneux par les vents qui soufflent de façon constante en saison sèche. Les espèces qui constituent ce tapis s'observent à l'état d'arbres en certains sites non hydromorphes, mais ce ne sont pas toujours les espèces les plus proches et les plus courantes ; On y voit parmi d'autres non déterminées, des *Parinari* et des *Albizzia* (ou *Acacia* ?). Le tapis de plantules forme topographiquement, la partie inférieure de la phyto-séquence : tapis de plantules - savane monospécifique à *Protea* bas - savane mixte à *Protea* dominants plus hauts - savane boisée à *Brachystegia Uapaca* ou jachère arbustive.

Les plantules envahissent les zones "dégradées"ensemencées par le vent ; elles ne se développent alors que sur 20 cm, leur croissance étant bloquée par les propriétés défavorables du sol ; elles étouffent ainsi toute autre forme de végétation.

2.6. La végétation des "bas-fonds" ("dambos")

Les bas-fonds plats, ou concaves sur leurs bordures, correspondent à l'émergence de la nappe phréatique qui y suinte en saison sèche et qui les inonde en saison des pluies. Ces bas-fonds sont occupés par une savane herbeuse aquatique ou semi-aquatique, souvent génératrice de tourbe.

Les zones à nappe sub-affleurante en permanence sont riches en petites fougères aquatiques, *Cyperacées*, *Echinochloa*, *Chloris gayana* ; les rares parties non engorgées en saison sèche, à sols limono-argileux, sont occupées de préférence par des *Cynodon* ou des *Hyparrhenia* et *Andropogon* atteints alors tardivement par les feux de brousse. On y voit alors de nombreuses petites termitières grises (10 - 30 cm de haut) de cubitermes.

Les berges du petit cours d'eau sinueux (moins de 1 mètre de large), lorsqu'il existe, sont occupés souvent par des *Typha*, *Phragmites* et fougères. Un chapelet d'arbustes à feuilles vert-sombre (*Syzygium guineense*) très discontinu, signale souvent la présence du petit lit.

2.7. Les zones cultivées et les jachères

Les glacis à sols rouges bien drainés, situés aux piémonts occidentaux du dôme de M'buzi et des collines de M'Bura, sont sporadiquement cultivés (maïs, manioc, haricot). On y pratique la culture pendant 2 à 3 ans avant d'aller cultiver et redéfricher plus loin la jachère arbustive.

Ces vieilles jachères arbustives sont envahies par des fourrés souvent difficiles à pénétrer, riches en *Acacia campylacantha* où l'on voit parfois encore des traces de billons.

Les flancs des têtes de certaines vallées (amphithéâtres colluviaux) sont aménagés en petites terrasses (1 mètre de large) et cultivés en caféiers. Les anciennes zones de cultures, actuellement abandonnées, sont envahies par des *Imperata*.

3 - GÉOLOGIE

Ici, comme pour la majeure partie du Malawi, le substratum géologique est constitué de roches métamorphiques du socle précambrien : micaschistes, gneiss, granito-gneiss, leptynites, granites. La structure et la lithologie résultent de plissements d'anciennes roches sédimentaires (grès et schistes) suivis d'un profond métamorphisme, et de phénomènes tectoniques. Ensuite les aplanissements successifs résultant des alternances d'altération et d'érosion ont "raboté" ce vieux socle ; les roches les plus résistantes à l'altération, donc à l'érosion c'est à dire les granites et les granito-gneiss ont été peu à peu dégagées et mises en relief, mettant ainsi en évidence dans une certaine mesure, la structure géologique du socle, les orientations des plissements et parfois leurs pendages.

Le modelé actuel et la forme du réseau hydrographique résultent de l'érosion différentielle ; ils sont directement liés à la structure géologique dont ils traduisent l'orientation.

Dans la région étudiée, la direction structurale dominante est NE-SW. C'est l'orientation des barres de roches dures dégagées par l'érosion : rides de granito-gneiss des collines de M'Bura, dômes de granites de M'Buzi et Mont Ngombechinda.

Entre ces reliefs, qui arment le modelé, se trouvent des "alvéoles" et gouttières creusés dans les altérites de gneiss et micaschistes, roches plus riches en minéraux ferro-magnésiens et plus pauvres en quartz donc où l'altération a pu progresser plus rapidement que sur granites et granito-gneiss. A une époque du quaternaire ancien ou de la fin du tertiaire, sous un climat contrasté et un faible couvert végétal, ont été façonnés des *glacis de piémont* ("glacis d'érosion" et non glacis colluviaux) par troncature des altérations antérieures.

Depuis, ces glacis ont été d'abord à nouveau profondément ferrallitisés sous forêt et climat humide, puis dégradés et recreusés par une baisse de niveau de base, pour aboutir à la morphologie actuelle.

Dans la zone cartographiée, il y a ainsi deux "provinces" géologiques principales :

- *les gneiss et micaschistes* : situés de part et d'autre des collines de M'Bura. A l'Ouest de cette ride, ils s'étendent jusqu'à la rivière Chizimba ; à l'Est ils vont jusqu'à la rivière N'daombera. Ces roches ont donné des sols rouges profonds (lorsqu'ils ne sont pas tronqués), relativement pauvres en gros grains de quartz, de couleur rouge sombre. La morphologie actuelle des interfluves (qui résulte d'une dissection récente des glacis antérieurs) montre des lambeaux de glacis de piémont parfaitement réguliers, concaves, à pentes longitudinales décroissant régulièrement de l'amont vers l'aval. Le façonnement en glacis sur ces roches s'est donc passé de façon

parfaite, non entravée ni ralentie par une quelconque armature rocheuse, du fait de la très profonde altération

- *les granites et granito-gneiss* : contrairement aux roches précédentes celles-ci ont présenté des résistances aux aplanissements.

. Dans le cas des collines de M'Bura l'armature a été dégagée sous forme d'inselberg rocheux et chaos de blocs déchaussés de leur matrice d'altération. L'érosion des altérites a été plus rapide que leur approfondissement. En contrebas de cette échine rocheuse les versants pentus déjà en partie façonnés sur altérite de micaschistes ou de gneiss, dominent les glacis de piémont très réguliers.

. Le Dôme de M'buzi présente moins d'affleurements de granite et ceux-ci ne sont pas aussi en relief que sur la rive de M'bura. Le couple altération/érosion n'a pas fonctionné de la même façon. La lame de granite est ici très large et diaclasée dans le sens NE-SW. Le réseau hydrographique, qu'il soit tributaire de la Lupanda au Sud ou de la Rupashe au Nord, a emprunté exactement ces diaclases et les a profondément recreusées, aboutissant à une dissection intense et à un modelé très accidenté.

Au Nord-Ouest du Dôme, dans la partie en fait qui nous intéresse le plus, le façonnement des glacis de piémont n'a pas été aussi parfait qu'en contrebas des collines de M'bura. L'altération sur granite étant moins rapide, a retardé cette évolution, de sorte que les glacis, du moins dans leur partie amont, n'ont pas acquis une parfaite concavité d'amont en aval ; la forme en dôme convexe persiste, bien que moins nette que sur le sommet.

Les sols présentent une couleur rouge moins sombre que sur gneiss et micaschistes ; ils sont plus riches en sable quartzeux. Ce sable est plus grossier. Localement, l'arène est atteinte assez rapidement. Les sols sur granite seront donc spécialement sensibles à l'érosion et auront des propriétés physiques moins favorables.

Sur ce dôme, l'érosion, au lieu de dégager comme à M'bura de gros noyaux de roche non altérée, a décapé l'arène granitique résultant d'une désagrégation granulaire et d'une altération plus régulière.

4 - GÉOMORPHOLOGIE

Nous traiterons essentiellement du *modèle*, son aspect descriptif, génétique et évolutif, les étapes de son façonnement et la morpho-dynamique actuelle ou potentielle (érosion, érodibilité).

Ici, comme presque partout en région tropicale, le façonnement du modèle n'affecte pas directement la roche saine, mais toujours son épais manteau d'altération qu'il faut considérer comme une couche "tampon". Celle-ci a également un rôle d'éponge car y pénètre une grande partie des eaux de pluie alimentant une "nappe phréatique d'altérite", responsable de la continuation de l'hydrolyse des minéraux en profondeur, dans la "roche pourrie". Ces altérations, suivant les conditions climatiques ambiantes subissent soit des mouvements de masse lorsqu'elles sont en déséquilibre gravitaire et qu'elles sont gorgées d'eau en profondeur, soit des décapages sous l'action des eaux de surface.

Il y a un antagonisme, une lutte de vitesse, entre l'approfondissement des altérites par les nappes phréatiques (qui a son maximum d'efficacité sous forêt en climat uniformément humide) et l'érosion de ces altérites par les eaux de ruissellement, d'autant plus active que le climat est sec, à régime pluviométrique contrasté et que la végétation est peu couvrante.

Ce couple érosion - altération a varié dans le temps, en fonction des fluctuations climatiques et des changements de niveau de base. Il varie aussi dans l'espace en fonction de la lithologie du substratum, de son altérabilité et donc de son érodibilité. A l'échelle d'une petite région comme celle que nous étudions (4500 ha), l'aspect actuel des modèles et des sols est essentiellement le résultat des fluctuations survenues depuis la fin du tertiaire. Les cycles d'érosion et de pédogenèse antérieurs n'influent pas sur les formes de détail qui nous intéressent ici.

La région nous montre ainsi des formes, telles les glacis, qui sont héritées de conditions phyto-climatiques semi-arides contrastées à faible couvert végétal, et des formes résultant au contraire de conditions forestières humides ; il en est ainsi des versants et interfluviaux convexes ("demi-oranges") issus du "défonçage" des glacis antérieurs.

On peut ainsi grossièrement reconstituer l'évolution géomorphologique de la région :

4.1. Dégagement des reliefs résiduels :

Les reliefs résiduels granitiques ou granito-gneissiques dominant depuis très longtemps les régions environnantes car ils forment des noyaux durs plus difficilement altérables que les gneiss et micaschistes. Les cycles successifs altération-aplanissement les ont donc fait émerger de

plus en plus dans le paysage. Il en est ainsi des lames granitiques structurales orientées NE-SW, nombreuses dans la région et faisant ressortir la structure plissée du socle. Les collines de M'bura et les dômes de M'buzi en sont de bons exemples.

Le dernier grand aplanissement est représenté par la *surface mi-tertiaire* (ou "surface Africaine") qui forme la vaste "pénéplaine" de Lilongwe-Kasungu et qui s'est insinuée en alvéoles et bassins dans les Monts Vipha (en particulier dans la région de Msese) aux dépens des roches tendres, gneiss et micaschistes, épargnant les roches dures (granites) dégagées depuis déjà longtemps de leur couverture d'altération. Les collines de M'bura qui montrent des petits inselbergs lisses et des chaos de blocs de granite, sont de bons exemples de ces reliefs résiduels.

Dans le cas des dômes, le dôme de M'buzi par exemple, l'échine granitique assez large, n'a pas été vraiment dégagée et mise en fort relief, mais a été "rabotée" par la morpho-dynamique ; le bombement dans le paysage traduit la résistance à l'aplanissement et le retard du façonnement. Ici, le granite sain n'a pas été assez brutalement "décapé" de ses altérites et mis à jour pour interdire la progression de "l'arénisation" (désagrégation granulaire) ; par contre la ferrallitisation profonde ne pouvait plus s'y produire, la nappe phréatique d'altérite ayant disparu.

4.2. Façonnement des glacis du Piémont : . . .

Cet épisode de morphogenèse active (fin tertiaire à début quaternaire) est intervenu pendant une phase climatique sèche, à régime pluviométrique contrasté et pluies brutales tombant sur une végétation éparsse peu protectrice (milieu semi-aride). Les glacis d'érosion ("pédiments") ont été façonnés aux piémonts des reliefs résiduels, sur altérites de gneiss ou micaschistes parfois de granites, dans les parties aval des dômes granitiques ; dans ce dernier cas les glacis sont moins réguliers ; leur concavité, caractéristique essentielle du vrai glacis est peu marquée, entravée par la convexité naturelle du dôme auquel ils se rattachent. Le ruissellement en nappe ayant été l'agent de façonnement, plus les reliefs résiduels dominants sont élevés plus net et concave est le profil longitudinal du glacis de piémont.

Les plus réguliers sont les glacis situés de part et d'autre des collines de M'bura ; ils s'accrochent à ces reliefs avec une concavité à pente forte jusqu'à 10 %, et cette pente longitudinale n'est plus que de 2 à 3 % à l'aval. Ces glacis de piémont ont été par la suite découpés par un réseau hydrographique, en lanières et plateaux, dégradés et "convexisés" sur les flancs des vallées et bas-fonds qu'ils dominent. Certains lambeaux ont ainsi perdu leur profil originel ; leurs sommets sont convexes et situés en dessous de la topographie initiale.

4.3. Ferrallitisation et "défonçage" des glacis par "convexisation", formation des bas-fonds :

Après la phase de morphogenèse précédente, un climat uniformément humide et un couvert forestier se sont installés. Les arènes sur lesquelles étaient façonnés les glacis de piémont, ainsi que les versants des reliefs résiduels et les dômes ont alors été affectés par une pédogenèse ferrallitisante. Les eaux de pluies ont maintenant un régime d'infiltration profonde, facteur essentiel de la ferrallitisation dans les arènes ; elles alimentent une nappe phréatique permanente logée dans les altérites. Les glacis, en même temps qu'ils acquièrent ce manteau ferrallitique, subissent un "défonçage" caractéristique des milieux humides forestiers ; les eaux de pluie, en excès, à faible pouvoir décapant (pas d'érosion en nappe), finissent cependant par se concentrer et entailler linéairement et lentement les altérites jusqu'à s'organiser en réseau hydrographique ; l'approfondissement des talwegs entraîne un déséquilibre des altérations sur les versants, soumises à des mouvements de masse sporadiques (reptation, foirages, glissements, "coups de cuiller"). Au fur et à mesure de l'entaille linéaire par le cours d'eau, celui-ci évacue d'abord les altérites glissées sous forêt ; cette morpho-dynamique est lente et se produit par "à coups" entre lesquels la ferrallitisation se poursuit ; l'horizon (B) rouge est seulement un peu moins épais que sur le sommet. A ce stade, le réseau hydrographique est composé de vallées ou de talwegs de "transit", à fond linéaire sans accumulation prolongée de matériaux ; ce ne sont pas encore des "bas-fonds". Puis l'approfondissement finit par atteindre la nappe phréatique ; l'évolution des versants et de la vallée change : le recoupement de la nappe indique que le niveau de base du réseau hydrographique est proche. Les altérites recoupées, noyées par la nappe, fluent ; en même temps, les versants reculent ; par soutirage basal ils se "convexisent", c'est à dire que leur pente augmente fortement jusqu'à la zone d'émergence de la nappe ; il y a à ce niveau une forte rupture de pente à l'aval de laquelle la vallée évolue en "bas-fond" véritable : fond plat ou concave raclant la roche pourrie gorgée par la nappe phréatique, faible recouvrement colluvo-alluvial, absence d'entaille linéaire bien individualisée. Ainsi les glacis d'origine ont été profondément transformés. Ils sont actuellement "défoncés" par un réseau de bas-fonds (appelés "dambos" en Afrique de l'Est) plats ou concaves, marécageux où il y a actuellement peu de transit et d'évacuation de matériaux. Ils correspondent au niveau de base local de la nappe phréatique d'altérite, et à son émergence quasi généralisée : gonflement et inondation en saison des pluies, simples suintements en fin de saison sèche. Cette nappe s'égoutte et circule cependant en permanence pour être drainée en aval par la Rupashe ; le milieu est "ouvert", il n'y a pas de confinement.

Les bas-fonds sont la plupart du temps profondément encaissés. Ils sont dominés par des versants convexes très pentus à forte rupture de pente basale, point d'inflexion recoupant la surface piézométrique, et matérialisés par la présence de lignes de sourcins.

Des glacis primitifs il ne reste plus que des plateaux ou lanières à sols rouges profonds. Ces derniers sont restés intacts là où le décapage postérieur n'a pas été trop intense. Ailleurs, le modelé de glacis a évolué en croupes et interfluves convexes, découpés par un réseau de bas-fonds encaissés dont la pente n'est pas toujours celle de la surface du glacis originel. De part et d'autre des "plateaux" résiduels à sols rouges non dégradés, partent donc des interfluves à pentes divergentes dont l'altitude du sommet convexe est inférieure à celle des glacis d'origine. Les sols rouges ferrallitiques initiaux y ont été tronqués plus ou moins profondément, lors de la péjoration climatique récente, survenue après la phase forestière uniformément humide

4.4. L'évolution récente et actuelle :

Le passage de la phase forestière humide à la phase actuelle, caractérisée par une longue saison sèche et une végétation très différente, s'est traduit par une évolution morpho-pédologique spécifique. Le modelé et les sols caractéristiques de la période humide se sont trouvés en déséquilibre morpho-climatique du fait d'un changement de régime hydrique ; celui-ci a acquit une composante horizontale plus nette ; cependant la fraction encore importante des pluies qui s'infiltre, perpétue en profondeur, dans la nappe phréatique maintenue, les processus géochimiques précédents (hydrolyses des minéraux, arénisation profonde).

La forêt sempervirente humide a évolué progressivement en savane boisée à *Brachystegia* ("miombo"). Cette évolution semble avoir favorisé l'activité des termites du type macrotermes constructeurs d'énormes termitières en dômes pouvant atteindre 4 mètres de haut. Ceux-ci ont remanié les sols rouges et provoqué peu à peu une concentration relative des éléments grossiers quartzeux (filons de quartz) à la base, à une profondeur variable mais pouvant atteindre 3 mètres. C'est l'origine de la "stone-line" quasi généralisée dans ce type de milieu post-forestier.

Le climat plus agressif a eu un effet érosif sur les altérites. Les "horizons B" rouges des sols ferrallitiques des versants convexes ont été peu à peu décapés par érosion en nappe, alors que sous forêt humide l'équilibre glissement-reconstitution de l'horizon (B) pouvait se maintenir. Seuls les sols des sommets des plateaux concaves (reliques des glacis d'origine) ont conservé leur horizon B rouge dans leur état initial.

L'évolution du réseau hydrographique, consécutive à l'abaissement du niveau de base des eaux de surface et de nappe phréatique (baisse probable du niveau du lac Malawi), a engendré un enfoncement des bas-fonds, suivant des processus assez comparables à ceux qui prévalent sous forêt ; en effet la nappe phréatique toujours présente, à partir du moment où elle a été recoupée et que l'entaille a atteint son nouveau niveau de base, a donc maintenu et entretenu la convexité des bas de versants, la forte rupture de pente bas-fond/versant. Lors de ce réajustement de niveau de base, le réseau de bas-fonds s'est donc enfoncé ; pendant cette phase, la morpho-dynamique sur les versants a été mixte : d'une part réactivation des glissements (foirages, reptation ...) des altérites des bas de versants lorsque la pente

est devenue trop forte, d'autre part décapage en nappe des altérites sur les interfluvés, avec tendance à la régularisation des versants.

Les lambeaux d'une "terrasse ancienne", sous forme d'épaulements perchés à plusieurs mètres, eux-mêmes "convexisés", bordent en certains endroits les cours d'eau principaux du réseau hydrographique (Rupashe et N'daombera). Ce sont les témoins des anciens bas-fonds qui existaient avant l'enfoncement du réseau observé actuellement et stabilisé. Là où cette terrasse a disparu elle a été "mangée" par convexisation régressive et "fonte" basale des altérites noyées par la nappe phréatique, et qui ont flué. Actuellement cette évolution est stabilisée ; les bas-fonds ont à nouveau trouvé leur profil d'équilibre correspondant au niveau de base de la nappe phréatique.

Cependant, en amont du réseau de vallées, c'est à dire au pied des reliefs dominants (M'bura surtout), les glissements d'altérites sont encore fréquents sur les versants et amphithéâtres terminaux. La présence de forêt galerie gêne l'évacuation des colluvions qui se fait très lentement par une minuscule entaille centrale. Ces colluvions brun-rougeâtres recouvrent donc fréquemment le "fond normal" du bas-fond, c'est à dire le niveau piézométrique. Ces têtes de vallées sont donc moins tourbeuses et marécageuses que les bas-fonds aval qui les prolongent. Des cultures maraîchères de contre-saison sont fréquemment pratiquées car la frange capillaire imbibe les colluvions en saison sèche. Les cultures traditionnelles de café en terrasses sur les versants environnants viennent souvent empiéter dans le fond de la vallée tant que l'hydromorphie due à la nappe sous-jacente peu profonde ne se fait pas trop sentir.

5 - RÉGIMES HYDROLOGIQUES

Nous avons vu qu'elle était l'importance des eaux superficielles et des eaux de nappe dans l'évolution passée, géomorphologique et pédologique du paysage. Les processus morpho-pédologiques dépendent essentiellement du régime hydrique. Le régime vertical d'infiltration et de nappe phréatique permet l'approfondissement des altérites, la ferrallitisation des sols et la conservation de leurs bonnes propriétés physiques ; il régit l'évolution lente du modelé par "convexisation" des interfluvés (mouvement de masse des altérites) dominant des bas-fonds marécageux à émergence de nappe. Le régime oblique de ruissellement a une action morpho-dynamique superficielle, aplanissement en glacis, régularisation des versants, par érosion en nappe ; les sols subissent dans leur partie supérieure des appauvrissements en argile les rendant plus sableux et plus compacts ; ils subissent une évolution physico-chimique généralement défavorable en ce qui concerne leur qualité agricole.

Du point de vue pratique, l'examen qualitatif et la compréhension du régime des eaux revêtent une très grande importance car :

- . ils peuvent expliquer la nature des sols et leur degré d'engorgement ainsi que les modalités de cet engorgement (par la haut ou par le bas). Cet aspect est capital à connaître dans l'optique de la culture du caféier, plante très sensible à l'hydromorphie.

- . ils nous donneront, en l'absence actuelle de toute mesure, une appréciation grossière des réserves d'eau libre utilisable en saison sèche, pour l'irrigation. Les observations ayant été faites en fin de saison sèche période, où les écoulements sont minima, nous donneront une idée des conditions les plus défavorables.

5.1. Les eaux de nappes des fractures du socle :

En-dessous de l'épaisse couche d'altération (plusieurs dizaines de mètres), le substratum métamorphique sain (gneiss, micaschistes, granites) est vraisemblablement parcouru de fractures et diaclases qui peuvent piéger des nappes discontinues. Les intersections de fractures constituent pour cela des sites privilégiés surtout si elles sont élargies et remplies d'arènes. Une zone probablement très intéressante pour ce genre de réserve en eau est la faille orientée NE-SW qui traverse le périmètre, à la base orientale des collines de M'bura. Cette faille est la prolongation de la grande "faille de Chimaliro", figure tectonique majeure de la région des Vipha du Sud.

Elle est bien visible au passage de la route goudronnée, au Sud de Katete, où elle forme l'escarpement boisé de Chimaliro, juste avant l'embranchement à droite pour Msese. Le passage de cette faille de cisaillement est jalonné de roches broyées (mylonites), susceptibles de constituer un excellent aquifère.

Ce genre de ressources en eau de fractures est cependant impossible à apprécier avant toute reconnaissance géologique précise, prospection géophysique et forages.

5.2. Les nappes phréatiques d'altérites :

En dehors des rides de reliefs résiduels (M'bura et M'buzi), l'ensemble de la région est couvert par une "éponge" d'altérites de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur aux-dessus de la roche saine. Ces altérites sont des arènes à partir de 1 à 3 mètres de profondeur, sous l'horizon B coloré et argilifié, c'est à dire qu'elles sont formées de "roche pourrie" où les minéraux sont en cours d'hydrolyse plus ou moins avancée (surtout les feldspaths et ferro-magnésiens), mais très reconnaissables et ont perdu leur cohésion initiale. Cette roche pourrie très épaisse, pouvant d'ailleurs englober des noyaux durs de roche saine non altérée, est imbibée par une nappe phréatique alimentée par l'infiltration des eaux de pluie. Cette nappe occupe les interstices d'une tranche épaisse de matériaux, mais représente dans son ensemble un volume assez faible, la porosité intergranulaire étant relativement limitée. Le toit de la nappe, grossièrement parallèle à la surface topographique convexe des interfluves, est cependant plus aplati, c'est à dire que la profondeur de l'eau libre peut être de 10 à 20 mètres sous le sommet, alors que cette nappe affleure en bordure des bas-fonds. Les eaux de pluies s'infiltrent au maximum dans les sols rouges non dégradés des sommets d'interfluves ; à ce niveau, sous végétation naturelle il y a peu de pertes par ruissellement. Sur les versants en partie décapés de leur horizon B rouge, donc plus massifs en profondeur, l'infiltration est ralentie ; lorsque l'intensité ou la durée des averses est trop grande, le seuil d'absorption est dépassé et il y a alors ruissellement en nappe ou écoulement latéral "hypodermique" dans la partie supérieure du sol (1 mètre environ) qui s'engorge donc par une "nappe perchée de versant" temporaire et circulante. Le ruissellement est d'autant plus important relativement à l'infiltration que l'on se trouve sur des sols plus tronqués, donc, en général sur les moitiés inférieures des versants. Le couvert végétal dense, à graminées ou plantules ligneuses basses, assure une bonne répartition du ruissellement, empêchant sa concentration et le ravinement.

5.3. Régime hydrologique des bas-fonds :

Les nappes ainsi alimentées en saison des pluies "gonflent" rapidement pendant cette période, affleurent à la base des versants et viennent alors inonder tous les bas-fonds. Ceux-ci constituent les sites d'émergence et de drainage de la nappe des interfluves, à laquelle viennent s'ajouter les eaux de ruissellement en provenance de ces versants. Une lame d'eau de 10 à 100 cm d'épaisseur circule en saison des pluies et s'évacue vers l'aval pour rejoindre la Rupashe. Les pentes longitudinales de certains bas-fonds sont assez fortes (parfois plus de 5 %) ; il n'y a cependant généralement pas d'entaille d'écoulement concentré notable ; l'écoulement en nappe est ralenti et bien réparti grâce à la végétation semi-aquatique (Cyperacées, fougères, Hyparrhenia, ...) qui couvre de façon homogène les bas-fonds, lorsque la végétation naturelle des interfluves est maintenue

il n'y a pas de gros débits de crues dévastateurs ; les eaux s'écoulant dans toute la largeur du bas-fond, couvert par un peigne végétal, il n'y a pas d'effet de "chasse d'eau" dangereux. Ce régime, particulier aux bas-fonds, tient au fait que ceux-ci sont davantage alimentés par les gonflements de nappe d'altérite que par des eaux de ruissellement à concentration rapide.

Du fait du fort pouvoir tampon exercé par la grande épaisseur d'altérites qui emmagasine les eaux de pluies, la nappe continue à s'égoutter lentement pendant toute la saison sèche, dans les bas-fonds ; sur leurs bordures, au point d'inflexion entre la convexité du versant et la concavité du bas-fond, se trouvent des suintements permanents de sourcins. La nappe est subaffleurante ; des tourbes "flottantes" spongieuses à fougères et cypéracées, occupent alors une partie des vallons ; souvent ces niveaux organiques sont cachés et enterrés par des foirages colluviaux récents de la base des versants en déséquilibre. Ces colluvions contribuent à augmenter la concavité latérale des bas-fonds ; elles deviennent peu à peu hydromorphes car elles sont à leur tour noyées régulièrement ou en permanence par la nappe phréatique.

Un cours d'eau central et très sinueux apparaît dans le bas-fond (avec son liseré de *Syzygium*), lorsque le bassin-versant est suffisamment grand. Cette entaille est étroite (moins de 1 mètre de large) et peu profonde (moins de 1 mètre), sauf dans le cas de la partie aval de la N'daombera et surtout de la Rupashe qui est un véritable cours d'eau (bordée d'une plaine alluviale de débordement), plus qu'un bas-fond proprement dit qui lui ne possède en principe pas d'alluvions mais racle directement les arènes quartzo-micacées.

5.4. Structure du réseau hydrographique :

La très grosse partie (38 km²) du territoire étudié (45 km²) appartient au bassin-versant de la haute Rupashe.

Nous sommes en tête de bassin de la Rupashe, rivière importante lorsqu'elle arrive au Lac Malawi, mais encore modeste au niveau de Msese. Plus précisément, le périmètre est essentiellement composé du bassin versant de la N'daombera (23,40 km²) affluent de rive droite de la Rupashe, la confluence étant située à l'extrême Est de la zone cartographiée. Une autre partie (4 km²) à l'Ouest, est drainée par la petite rivière Chizimba, également tributaire de rive droite de la Rupashe ; au Nord, environ 10 km² sont drainés par divers petits bas-fonds affluents de la Rupashe. Enfin la dernière partie soit environ 7,5 km² est drainée vers le Sud par la Lupanda qui d'ailleurs, très en aval, rejoint la rivière Pwazi, elle-même tributaire de la Rupashe.

Le réseau hydrographique de la Haute Rupashe comporte très peu de vallées alluviales "classiques" ; en effet il n'y a qu'exceptionnellement des terrasses bien planes constituées de vrais remblaiements alluviaux de débordement. En fait nous n'en avons observées que le long de la Rupashe entre sa confluence avec le Kandodo et celle avec la N'daombera. Partout ailleurs les vallées sont occupées par des bas-fonds tels que nous les avons décrits précédemment : fond plat à concave, pente longitudinale souvent forte, absence d'écoulement concentré important, suintements permanents de nappe phréatique, végétation semi-aquatique, sols semi-tourbeux, absence de remblai aluvial, la roche pourrie gorgée d'eau étant située à moins de 1 mètre de profondeur, recouverte parfois de colluvions issues du glissement des altérites des versants.

La largeur des bas-fonds est comprise entre 20 et 200 mètres ; en fait, ils sont souvent formés d'une succession d'élargissements en lobes et de retrécissements adaptés à la lithologie du socle. Cette morphologie dépend essentiellement de la profondeur d'altération différentielle des versants. Les retrécissements de vallée témoignent de la présence de barres de roches dures peu altérées (granites), transversales au lit et armant à faible profondeur les versants dominants voisins ; dans ce cas, des affleurements de boules ou dômes de granite ou granito-gneiss sont visibles à la base de ces versants. Au contraire, à l'amont de tels retrécissements, on observe souvent des "biefs" lobés, anormalement élargis, façonnés aux dépens d'altérations profondes, au sein desquelles la nappe phréatique, certainement bloquée par l'obstacle rocheux aval, est plus haute et a donc été plus active sur la dynamique de glissement et de soutirage de ces altérites. De tels sites "seuil-bief" constituent des emplacements parfaits pour la construction de barrages. Sur la Rupashe, deux sont particulièrement intéressants en bordure du périmètre étudié : l'un se trouve 900 mètres à l'aval de la confluence Rupashe-N'daombera, quand la Rupashe commence à s'encaisser entre les dômes granitiques ; l'autre seuil est situé 800 mètres à l'aval de la confluence Rupashe-Chizimba ; derrière ce seuil se trouve une retenue bien encastrée, de 12 hectares (700 à 800 mètres de long sur 160 mètres de large).

La forme du réseau hydrographique traduit également dans une grande mesure la structure géologique. La Rupashe, bien qu'ayant une direction générale de l'Ouest vers l'Est, est obligée de traverser des rides montagneuses à armature granitique orientées NE-SW ou NNE-SSW. Son tracé montre ainsi de nombreux changements de direction à angles droits. Ses affluents présentent une orientation préférentielle NE-SW, adaptée à la structure du socle. Sur le périmètre que nous avons cartographié, le réseau de la N'daombera est cependant assez "libre" ; en effet il occupe un bassin de roches gneissiques régulièrement et profondément altérées. Seuls les drains insinués dans les diaclases du dôme de M'buzi montrent un tracé rectiligne NE-SW. D'ailleurs tous les tributaires de la Lupanda et de la Rupashe enfoncés dans les dômes de M'buzi, au pied du Mont N'gombechinda sont d'une rectitude absolue. Ils ont très profondément surcreusé des diaclases ou des couches moins "granitisées" (et donc plus tendres) des plissements du dôme. Le résultat est un réseau en "arête de poisson" où aux axes centraux rectilignes NE-SW très encaissés, sont greffés de très nombreux petits bas-fonds affluents, perpendiculaires, également profondément enfoncés.

5.5. Appréciation des ressources en eau :

Le régime particulier du système de bas-fonds de la région est très intéressant ; en effet, en fin de saison sèche tous les bas-fonds suintent encore ; "l'égouttage" de la nappe phréatique d'altérite, alimentée en saison des pluies sur les interfluvés, est très lent. Ce type de régime hydrologique s'oppose diamétralement à celui des cours d'eau qui drainent des bassins versants à faible couvert d'altérites, à fort ruissellement et rapide concentration, où les écoulements se font par "à coups" avec des crues brutales, et où le lit est totalement sec en fin de saison sèche.

Les évaluations rapides de l'hydrologue concernant les débits de fin de saison sèche (10 novembre) sont les suivantes :

- . *Rupashe* : à l'aval immédiat de sa confluence avec la N'daombera
environ : 1,5 m³/s pour un bassin versant de 200 km²,
soit 0,07 l/s par hectare de bassin-versant
- . *Rupashe* : à l'aval immédiat de sa confluence avec la Chizimba :
0,6 m³/s pour un bassin versant de 149 km², soit
0,04 l/s par hectare de bassin-versant.
- . *N'daombera* : à l'amont immédiat de sa confluence avec la Rupashe :
80 l/s pour un bassin versant de 23,4 km², soit 0,035 l/s
par hectare de bassin versant.

En faisant une moyenne et supposant la couverture d'altérites et le modèle homogène sur ces bassins versants, on peut donc estimer qu'en fin de saison sèche, le débit disponible est de l'ordre de 0,04 à 0,05 l/s et par hectare de bassin versant.

En fait pour un bassin versant élémentaire donné, ce débit dépend de la capacité d'absorption de ce dernier et de son coefficient de ruissellement qui dépendent eux-mêmes de la nature du sol, de la profondeur des altérites susceptibles d'emmagasiner la nappe, de la couverture végétale, des pentes. Plus la proportion de "sols rouges" profonds (non tronqués) est importante plus l'infiltration sera dominante. Inversement les bassins versants à forte proportion d'interfluvés convexes pentus à sols tronqués auront des coefficients de ruissellement plus importants, les débits momentanés des bas-fonds desservis seront plus élevés, mais ces bas-fonds s'assècheront plus vite en saison sèche. La carte morpho-pédologique où tous ces éléments sont indiqués constitue un document de base permettant d'avoir une idée des ressources potentielles en eaux de chaque petit bassin-versant.

Enfin il ne faut pas oublier qu'en dehors des eaux d'écoulements superficiels dans les petits cours d'eau, seules évaluées ici, une partie des eaux qui s'évacue encore en fin de saison sèche est sous forme de nappe d'inféro-flux traversant toute la section du bas-fond et est donc difficilement mesurable. Ces circulations d'eau continues dans le "sous-sol"

du bas-fond et les afflux latéraux de nappe sont certainement des obstacles à une bonne étanchéité d'un barrage. Les fuites latérales et profondes seront inévitables si le barrage n'est pas appuyé sur un seuil rocheux. C'est pourquoi, il est préférable, dans de telles vallées, d'envisager de petits ouvrages peu onéreux où l'on s'accommodera des pertes, que de barrages plus importants et très coûteux si l'on veut absolument assurer une bonne étanchéité.

DEUXIEME PARTIE

LES UNITÉS MORPHO-PÉDOLOGIQUES ET LEURS APTITUDES A LA CULTURE DU CAFÉIER

Ce sont des "unités de milieu", homogènes au niveau de perception considéré (échelle 1/20.000), qui ressortent de façon naturelle dans le paysage. Elles sont définies par un ensemble de caractéristiques (sols, modelé, régime des eaux, végétation, érodibilité ...), dont l'un est souvent dominant et le plus visible (les sols rouges par exemple), et qui s'expliquent les unes par les autres. Ces unités de milieu (ou morpho-pédologiques) sont également des "unités de mise en valeur", car certaines contraintes ou facteurs favorables pour l'utilisation envisagée (culture industrielle du caféier en irrigué) y sont spécifiques et découlent des caractéristiques qui définissent ces unités.

Séparement, la valeur de chaque unité délimitée sur la carte pourra cependant être affectée d'une "plus-value" ou au contraire être dépréciée suivant certains critères géographiques et géométriques (importants dans l'optique de la culture industrielle) qui apparaissent implicitement à l'examen de cette carte, tels par exemple la taille, la forme, l'isolement, les possibilités d'accès ou d'amenée de l'eau.

L'ordre dans lequel nous décrirons les ensembles morpho-pédologiques suit grossièrement la position topographique, en commençant par les affleurements rocheux des reliefs résiduels et en terminant par les bas-fonds.

1 - LES AFFLEUREMENTS DE GRANITE :

Les affleurements rocheux représentent une proportion très minime de la région étudiée. Ils sont d'ailleurs très disséminés et la plupart du temps non cartographiables. Nous avons indiqués les plus importants ; ceux-ci jalonnent les sommets des deux rides qui dominent la région : le dôme de M'buzi et surtout les collines de M'bura, où les plus gros affleurements (2 ou 3) en forme d'inselbergs, encore assez peu dégagés, à parois lisses et très pentues, forment les éléments marquants du paysage. Toute la crête de M'bura, dans le prolongement NE de ces inselbergs et jusqu'à la Rupashe, est parsemée de chaos de blocs disjoints arrondis.

Ici, comme sur le dôme de M'buzi, les affleurements sommitaux sont situés au ras du sol ou peu en relief et, contrairement aux inselbergs, sont généralement sans racines profondes, c'est à dire qu'ils sont enveloppés dans une matrice d'altération ; ils sont vraisemblablement "descendus"

en blocs disjoints au fur et à mesure du rabotage du dôme par l'érosion. Ils sont emballés dans une matrice arénacée, base d'une vieille altération ferrallitique dont l'essentiel a été déblayé depuis longtemps par l'érosion. Les versants des reliefs montrent également de nombreux blocs issus du déchaussement des affleurements du sommet, et de leur basculement, en même temps que leur matrice terreuse, sous forme de colluvions de pentes.

En dehors des reliefs résiduels, des affleurements de roche saine, très limités et non cartographiables, s'observent à la base de certains versants convexes en pente forte en bordure de vallée, spécialement près de la N'daombera dans son tronçon aval encaissé, et le long de la Rupashe.

2 - LES VERSANTS TRES PENTUS DES RELIEFS RESIDUELS :

Cette unité de milieu caractérise une partie, la plus au Sud, des collines de M'bura ; ce sont les versants situés en contrebas (des deux cotés) de la série d'inselbergs granitiques situés au NE du col où passe la piste Msese-Makhuwila. Ces noyaux durs forment depuis très longtemps une armature stable, bien "enracinée" en profondeur non déchaussée par l'érosion, au pied de laquelle s'accrochent des versants à pentes très fortes, régulières et concaves, supérieures à 20 % atteignant fréquemment 50 % ; à l'aval ils sont en continuité, sans rupture de pente brutale, mais avec un fort redressement de la concavité, avec les glacis de piémont ; comme eux ils sont sous-tendus par des gneiss ou des micaschistes et ont été profondément ferrallitisés en conditions forestières uniformément humides, différentes des conditions actuelles.

La végétation naturelle de ces versants est la forêt claire à *Brachystegia* - *Julbernardia* - *Uapaca*, mais cette forêt est en cours de destruction totale par l'homme qui brûle pour mettre en culture. Les sols sont des ferrallitiques remaniés, limono-argileux, de couleur brun-rouge, assez riches en matière organique. Ce sont des colluvions de pentes, très hétérogènes, englobant des blocs rocheux ; ils résultent de mouvements de masse tangentiels (glissements, reptation ...). Sous ces colluvions de 30 à 100 cm d'épaisseur se trouve la zone d'altération en place du gneiss, de couleur rouge vif, plus sableuse et compacte.

Sur ces pentes très fortes, le défrichement et la culture sur brulis ont pour conséquences désastreuses l'érosion en nappe et en petits ravins. Ainsi la piste de Msese, sur le flanc Nord de ces collines est traversée de nombreuses langues sableuses alimentées par le décapage des sols en amont.

Compte tenu, d'une part de leurs pentes très fortes et de leur position dominante, les rendant inaptés à l'irrigation, d'autre part de leur érodibilité et de l'hétérogénéité des sols, ces terrains, qui représentent une cinquantaine d'hectares, ne conviennent absolument pas à la culture industrielle du café. Par contre, les versants en cours de déboisement

peuvent constituer une menace pour les sols rouges situés sur leur piémont immédiat et qui eux sont extrêmement intéressants (voir plus loin) : recouvrement par des colluvions sableuses, écoulements en nappe érosifs. Il serait alors opportun de les reboiser, en *Pinus patula* par exemple.

3 - LES DOMES GRANITIQUES :

Les dômes font encore partie des reliefs résiduels, bien qu'ils aient un modelé plus émoussé que les deux unités précédentes. Ils forment des bombements allongés dans le sens NE-SW (direction litho-structurale dominante de la région), correspondant à une mise en relief progressive des granites ou granito-gneiss, roches plus lentement altérables, ayant opposé une résistance aux aplanissements en glaciaires.

Le territoire étudié est traversé par 2 séries de dômes :

- le prolongement Nord-Est des inselbergs de M'bura, qui s'allonge sur 4 à 5 km (pour 300 à 600 mètres de large), jusqu'à la Rupashe; son altitude baisse régulièrement du Sud vers le Nord, de 1530 mètres à 1400 mètres. La ligne de crête du dôme est jalonnée de petits sommets peu élevés correspondant à des affleurements de granito-gneiss. Ce dôme est occupé par une savane arbustive à *Protea madiensis* parsemée de nombreuses termitières de Cubitermes en monticules gris.

- Les dômes de M'buzi : ce sont les hauteurs qui, sur 7 à 8 km de long, forment la limite orientale de la région étudiée, dominée par le Mont Ngombechinda (1625 mètres d'altitude) légèrement en dehors de la carte. Il s'agit de lames de granites, disséquées longitudinalement en "arêtes de poisson", suivant leur axe NE-SW, par des vallées profondes et encaissées, tributaires soit de la Rupashe au Nord, soit de la Lupanda au Sud. Cette dissection axiale due à une érosion différentielle a fait ressortir plusieurs rides ou dômes parallèles étagés à des altitudes légèrement différentes, mais comprises entre 1350 et 1500 mètres. Des affleurements de granites, la plupart du temps situés au ras du sol indiquent les emplacements des sommets aplatis et peu marqués qui jalonnent les dômes.

La partie drainée par la Lupanda, vers le Sud est couverte d'une forêt claire à *Brachystegia* ("miombo"). Le reste est déboisé et occupé par une savane arbustive à *Protea madiensis* piquetée de quelques gros arbres sur grandes termitières, et parsemée de minuscules reliques forestières.

Le modelé des dômes est toujours largement convexe dans la partie sommitale à pentes faibles ; les versants également convexes, ont des pentes fortes à très fortes (fréquemment supérieures à 20 % surtout à M'bura), excepté sur les flancs Ouest du dôme de M'buzi en amont du bassin de la N'daombera. A cet endroit le dôme se raccorde insensiblement

aux glaciers de piémont par l'intermédiaire de "glacis-dômes" également appuyés sur granite, à profil encore légèrement convexe, et découpés transversalement par le réseau hydrographique. Topographiquement ces "glacis-dômes" (voir l'unité suivante), sont situés entre le dôme proprement dit et les glaciers de piémont.

- *Les sols* : Ce sont d'anciens sols ferrallitiques actuellement profondément tronqués dans la zone d'altération ; l'ancien horizon "B" argileux très coloré a été décapé. La zone d'altération montre encore des micas et est riche en sable quartzeux assez grossier. Elle englobe souvent des blocs résiduels de granite non altéré. Ce matériau est de couleur rouge-clair à ocre, massif (pas d'agrégats bien différenciés), compact ; la pénétration racinaire y est faible ; il possède une assez faible perméabilité, ce qui occasionne un fort ruissellement hypodermique : la partie supérieure du sol est "lavée", décolorée (teinte grisâtre à beige) et sableuse.

A ces propriétés défavorables, s'ajoute la présence fréquente de blocs de granite en surface ou à faible profondeur.

Ce type de milieu présente donc une faible potentialité pour la culture industrielle du caféier qui supporte très mal la compacité en profondeur et l'engorgement superficiel. D'autre part les pentes, la position topographique défavorable, les affleurements rocheux épars, forment des contraintes importantes pour l'aménagement, dont les coûts seraient prohibitifs compte tenu de la faible qualité des sols eux-mêmes.

Les dômes granitiques, dans la région cartographiée, ont une superficie de 730 hectares (547 pour M'buzi, 183 pour M'bura). Leur meilleure utilisation est le reboisement (pour les zones déjà déboisées). Même pour des cultures vivrières, les sols sont très médiocres.

4 - LES SOLS FERRALLITIQUES DES PARTIES INFÉRIEURES DES DÔMES GRANITIQUES :

Cette unité morpho-pédologique intéresse exclusivement le "piémont" occidental du dôme granitique de M'buzi. Elle forme les interfluves (au nombre de 8) résultant de l'entaille de ce dôme, par les vallées du bassin de la N'daombera. Celles-ci découpent transversalement profondément le dôme sur 600 à 800 mètres de long.

Le modèle des interfluves est convexe, aussi bien dans le sens longitudinal (où les pentes, fortes, sont comprises entre 5 et 10 %) que dans le sens transversal où les flancs qui dominent les bas-fonds ont des pentes supérieures à 30 %.

Comme sur l'ensemble du dôme granitique, la végétation naturelle était la forêt claire à *Brachystegia* - *Uapaca*. Celle-ci subsistait encore

en Novembre 1981 sur une grande partie (une trentaine d'hectares), mais elle était à cette époque en cours de destruction et de brulis.

Les sols sont développés sur altération de granite, roche riche en quartz et relativement pauvre en fer ; c'est pourquoi leurs caractéristiques essentielles sont d'être assez riche en sable quartzeux grossier, et d'être moins vivement colorés (ocre ou rouge clair) que les sols rouge-sombre voisins, développés sur gneiss ou micaschistes (roches plus riches en minéraux ferro-magnésiens). Il s'agit de sols ferrallitiques qui ont été moins tronqués que ceux des sols situés sur le dôme proprement dit (voir l'unité précédente) ; cependant l'horizon B de couleur rouge-clair à orangée est assez peu "argilifié" et structuré : texture limono-sableuse à limono-argilo-sableuse, structure massive ou polyédrique peu développée, consistance assez compacte. En surface, sur 10 à 30 cm d'épaisseur, ces sols sont généralement sableux à sablo-limoneux et légèrement décolorés, caractéristiques d'un léger "lavage" hypodermique à certaines périodes de la saison des pluies. Malgré leur plus grande teneur en sable grossier quartzeux que les sols rouges sur gneiss (voir unité suivante), ces sols sur granite présentent donc une perméabilité plus faible. Ceci est dû à une structure moins développée et à une proportion de "pseudo-sables" plus faible.

Ces sols sont spécialement sensibles à l'érosion en nappe d'autant plus que la pente du terrain est presque toujours supérieure à 5 %.

Aptitude à la culture du caféier : comparés aux "sols rouges" proprement dits, ces sols sont de qualité inférieure : leur faible structure n'incite pas à une pénétration racinaire profonde, à une exploitation optimale des réserves hydriques. Celles-ci sont d'ailleurs faibles ; la réserve utile est de 4 % ; la densité apparente étant de l'ordre de 1,5, cette réserve utile est d'environ 6 mm par décimètre de sol. Comme tous les sols ferrallitiques, y compris les sols rouges profonds, le complexe absorbant est extrêmement pauvre et désaturé. La texture sableuse de l'horizon superficiel et sa faible stabilité structurale le rendent aisément mobilisable par l'érosion en nappe dès que l'écoulement hypodermique s'instaure. La protection anti-érosive devra donc être spécialement soignée sur ce type de sol, spécialement pendant les deux premières années. Les cultures vivrières intercalaires ne nous semblent pas conseillées ici.

Malgré ces réserves et moyennant quelques précautions cette unité morpho-pédologique, qui représente au total 157 hectares, pourra être retenue pour les blocs de culture. Son aptitude relative au caféier en culture industrielle, est moyenne ; elle vient en troisième fonction, après les "sols ferrallitiques rouges profonds" et les "sols ferrallitiques faiblement tronqués" (voir ci-dessous). Ces sols ont une "plus-value" due à leur accès aisé, en bordure immédiate de la crête du dôme de M'buzi, sur laquelle passera vraisemblablement un des axes principaux de circulation dans la plantation.

5 - LES SOLS ROUGES FERRALLITIQUES PROFONDS

Les "sols rouges" des glacis de piemont constituent les meilleurs sols de la région pour la culture caféière.

Position géomorphologique : les sols rouges occupent la surface originelle des glacis de piemont des reliefs résiduels (collines de M'bura et dômes de M'buzi). Ces glacis s'accrochent aux reliefs dominants par des concavités à pentes fortes, surtout aux pieds des reliefs de M'bura (jusqu'à 12 %). Plus en aval, les pentes longitudinales des glacis sont comprises entre 3 et 8 %.

A l'heure actuelle, l'ensemble des glacis ne forme plus une surface continue ; celle-ci a été "défoncée" par l'érosion linéaire postérieure (voir le chapitre "géomorphologie"), délimitant des lanières et plateaux inclinés, descendant vers la N'daombera (à l'Est des collines de M'bura) ou vers la Chizimba (à l'Ouest de ces collines). Les plateaux dominant des vallées généralement assez encaissées occupées par des bas fonds marécageux. Transversalement à l'interfluve, la dénivellation entre le sommet de cet interfluve et le bas-fond voisin est le plus souvent comprise entre 30 et 60 mètres. Les sols rouges n'occupent que la partie sommitale non "dégradée" de ces plateaux, correspondant à la topographie des glacis originels, où les sols ferrallitiques rouges n'ont pas été tronqués ; dès que l'on s'écarte de la zone centrale, pour se rapprocher des versants qui dominent les bas-fonds, la pente augmente et l'interfluve se "convexe" ; les sols rouges d'origine y sont tronqués plus ou moins profondément par le décapage et y ont perdu en partie leurs propriétés favorables initiales ; nous ne sommes alors plus sur le même type de milieu (voir plus loin).

La végétation : lorsque les sols rouges n'ont jamais été cultivés, ce qui est assez rare et toujours difficile à affirmer, la végétation naturelle montre des reliques forestières très peu étendues auréolées de savane arborée à *Brachystagia*, *Erythrina*, *Strychnos spinosa*, ... Ces savanes arborées remplacent peu à peu la forêt humide qui, n'étant plus soumise à ses conditions climatiques d'origine se trouve en déséquilibre ; elle est peu à peu rongée par les feux ; les gros arbres de forêt humide, non encore atteints par les feux supportent la longue saison sèche et se maintiennent encore sur les sols rouges car ils peuvent s'y enraciner très profondément et exploiter l'humidité d'un grand volume de sol ; mais les arbres, une fois coupés ou brûlés, ne peuvent plus se régénérer. Cette évolution naturelle de la végétation non défrichée par l'homme s'observe essentiellement sur les plateaux situés entre les collines de M'bura, et la N'daombera (environ 270 hectares). Partout ailleurs, soit sur 650 hectares, au sud de la N'daombera et sur la rive droite de la rivière Chizimba, les sols rouges ont déjà été cultivés et sont occupés par une jachère arbustive, localement assez dense et difficile à pénétrer à pied. Dans ces "terroirs", il est malaisé d'apprécier la proportion effectivement cultivée.

annuellement. Cependant, elle ne semble pas dépasser 25 % (soit environ 160 hectares).

Les sols : ce sont des sols ferrallitiques typiques "fortement désaturés". Leur caractéristique essentielle par rapport aux autres sols de la région, est l'épaisseur de l'horizon B, de couleur rouge sombre au dessus de la zone d'altération à minéraux encore reconnaissables (micas en particulier). La limite entre les deux "matériaux" est fréquemment soulignée par une "stone-line" de quartz. "L'horizon B" rouge, sans éléments grossiers, a été vraisemblablement totalement remanié par les termites. Ces insectes en remontant la terre ont ainsi provoqué une descente et une concentration relative des cailloutis de quartz (filons) à la base. Les caractères de ce "matériau" rouge sont les suivants :

Tout d'abord sa grande épaisseur et son homogénéité sur plus de 2 mètres (il peut atteindre 4 mètres) ; il est uniformément rouge sombre (dans les 2,5 YR sur le code Munsell) ; on n'y observe aucune tâche d'hydromorphie, aucun élément grossier (ni roche altérée, ni quartz, ni gravillons ferrugineux). Il est extrêmement drainant, friable, "léger" (densité apparente de 1,30) et ne présente aucun obstacle à son exploration totale par les racines ; du point de vue "textural", le toucher est d'abord limono-sableux à limoneux, puis au fur et à mesure du "malaxage" manuel cette texture passe au limon-argileux. Cette propriété tient à la forte proportion de "pseudo-sables" que contient l'horizon B. Il s'agit de particules à structure concentrique, constituées au centre d'un grain de sable quartzueux ; celui-ci est enrobé de couches concentriques argilo-ferrugineuses (kaolinite-sesquioxides de fer). Ces particules, de la taille des sables moyens à grossiers, ont une bonne stabilité ce qui explique que le sol présente un "toucher" limono-sableux. A l'analyse granulométrique de laboratoire, une partie des pseudo-sables est détruite, libérant de l'argile fine ; les proportions granulométriques (limons, argiles, sables) indiquent alors une "texture" plus fine.

La présence d'une forte proportion de pseudo-sables est significative d'une excellente percolation verticale des eaux de pluies et de l'absence totale de conditions d'engorgement si temporaires soient-elles. Un léger ralentissement du drainage entraînerait automatiquement une destruction des pseudo-sables par mise en solution du fer, et une "dégradation" progressive des propriétés physiques par tassement et prise en masse.

La richesse du sol en "pseudo-sables" est responsable de ses excellentes propriétés physiques. La réserve en eau utile est cependant faible, 4,5 % en moyenne soit, pour une densité apparente de 1,30, environ 6 mm par décimètre de sol. Ceci est compensé dans une certaine mesure par la grande épaisseur exploitable, qui, dans ces sols rouges dépasse 2 mètres.

Chimiquement, ces sols ferrallitiques sont extrêmement pauvres. Le pH est acide (5,5 à 6,0), la capacité d'échange du complexe absorbant est faible (5 à 6 mé %) ; la somme des bases échangeables, dans l'horizon B (sous l'horizon humifère) est, la plupart du temps très inférieure à 1 mé % ; le pourcentage de saturation est généralement inférieur à 5 %.

Sous l'horizon B, décrit précédemment, se trouve le sommet de la zone d'altération du gneiss ou du micashiste. On y voit encore des minéraux non complètement altérés, surtout des paillettes de mica. Ce matériau n'a pas été perturbé par les termites ; la structure feuilletée de la roche a été conservée et est fréquemment reconnaissable ; cette zone d'altération est toujours plus compacte et massive (faiblement structurée) que l'horizon B qui la recouvre. De toute façon dans l'unité morpho-pédologique présente, correspondant aux lambeaux de glaciés de piémont "non dégradés", l'horizon B des sols rouges est toujours très épais, de sorte que la zone d'altération sous-jacente n'est pas ici une source de contrainte ; elle le deviendra davantage pour les sols ferrallitiques tronqués (voir unités suivantes).

Aptitudes à la culture du caféier :

Les sols rouges ferrallitiques profonds n'opposent aucune contrainte importante à la culture industrielle du café. Dans la région du Msese ils constituent le type même des "sols à café". Leurs deux qualités essentielles pour le caféier, et qui sont spécifiques à ces sols sont d'une part leur grande profondeur facilement exploitable par les racines (cette profondeur utile dépasse le plus souvent 2 mètres), d'autre part leur grande perméabilité qui permet une percolation rapide des eaux de pluies ; celles-ci s'infiltrent pratiquement en totalité. Il n'y a jamais d'engorgement momentané du sol, susceptible de gêner le système racinaire.

A ces qualités intrinsèques du sol, s'ajoutent des facteurs topographiques et géométriques très favorables : les sols rouges occupent des pentes inférieures à 8 % et forment généralement de grands ensembles homogènes d'un seul tenant particulièrement adaptés à la création de blocs de culture industrielle. Cependant certaines unités, très difficiles d'accès, morcelées, encadrées par des vallées profondes, et qui sont soit de petite taille ou soit à forte dénivellée par rapport aux points de pompes éventuels, seront vraisemblablement à écarter. Il s'agit en particulier des unités situées au Nord du périmètre, au piémont immédiat des collines de M'bura. Sur les 925 hectares que représentent les sols rouges, une soixantaine d'hectares risquent, pour des raisons de mauvaise situation géographique d'être inutilisables.

Ces qualités physiques s'accompagnent cependant d'une extrême pauvreté chimique (caractère commun à tous les sols de la région) et d'une grande susceptibilité à l'érosion. Celle-ci est due à la présence des "pseudo-sables" qui ont un comportement de vrais sables : ils confèrent une faible stabilité structurale aux agrégats et une forte

sensibilité au décapage en nappe. Il faudra assurer une protection efficace du sol, surtout pendant les premières années de plantation (voir plus loin).

6 - LES SOLS FERRALLITIQUES LEGEREMENT TRONQUES

- Position géomorphologique :

Ce type de milieu est généralement situé en auréole par rapport aux sols rouges, qui eux, occupent les parties sommitales des interfluvés, correspondant aux anciens glacis de piémont. Ceux-ci passent progressivement aux versants légèrement convexes, à pentes plus fortes (5 à 12 %), où les sols rouges sont de plus en plus tronqués dans leur horizon B. Topographiquement nous sommes donc ici légèrement en contrebas par rapport aux sols rouges. Lorsque le degré de troncature du sol augmente pour atteindre la zone d'altération, on passe alors, plus en aval à un autre type de milieu, plus défavorable (voir unité suivante) ; lorsque la dénivelée entre sommet d'interfluvé à sols rouges et bas fonds, n'est pas trop importante (parties amont des bassins de la N'daombera et de la Chizimba), c'est à dire lorsque le "défonçage" des glacis de piémont d'origine n'est pas encore trop profond, l'auréole des sols tronqués n'est pas trop importante ; elle se réduit généralement à une bande de 50 à 200 mètres de large de versants convexes dominant immédiatement les bas-fonds : l'étendue des versants convexes et le degré de troncature (érosion ancienne) de leur sols sont d'autant plus importants que le réseau hydrographique est dense et encaissé, spécialement l'approche de la Ruspashe et de la N'daombera-aval ; dans cette région les sols rouges d'origine n'existent plus.

- La végétation naturelle est composée le plus souvent d'une savane arborée ou arbustive, intermédiaire entre les boisements à *Brachystegia* ou les lambeaux forestiers des plateaux, et la savane arbustive basse monospécifique à *Protea*. Les grands arbres (*Parinari*, *Erythrina*, ...) sont clairsemés et occupent des grandes termitières en dômes étalés. Parmi les espèces arbustives dominantes on trouve *Protea madiensis*, *Strichnos spinosa*, *Bridelia*...

De temps en temps, des boisements purs à *Uapaca* subsistent, mais ils sont toujours limités et très bien circonscrits.

La strate herbacée est composée d'*Hyparrhenia*, *Heteropogon*, *Loudetia*...

- Les sols :

Comparés aux sols rouges ferrallitiques typiques décrits précédemment, dans ces sols, la zone d'altération (à micas encore présents) est beaucoup plus proche de la surface. L'horizon B initial très rouge et épais, a été en partie érodé ; il s'agit de sols "tronqués". La zone d'altération est maintenant située entre 50 et 150 cm de profondeur ; elle est d'autant plus proche de la surface que la convexité du versant est plus accentuée.

Cette zone d'altération, nous l'avons déjà mentionnée, est massive, compacte et à percolation verticale des eaux plus lente que dans l'horizon B à pseudo-sables. Il s'en suit que par rapport aux sols rouges typiques très profonds le régime hydrique a changé : pendant la saison des pluies, à certaines périodes particulièrement pluvieuses, la diminution sensible de la perméabilité dans la zone d'altération, se répercute dans la partie supérieure du sol, où les eaux, au lieu de traverser rapidement le matériau, sont ralenties. Pendant des périodes courtes de la saison des pluies, la capacité d'absorption du sol peut être dépassée et il y a alors engorgement temporaire, et ruissellement "hypodermique" des eaux en excès. En surface un début de "lavage" des argiles, avec enrichissement relatif en sable, peut se produire et on arrive progressivement aux "sols lavés" que nous décrirons dans l'unité morphopédologique suivante. Ce ralentissement du régime hydrique a donc des conséquences sur la morphologie du sol. Par rapport aux sols de plateaux la couleur d'ensemble qui était rouge sombre, palit légèrement et passe au brun-rougeâtre (2,5 YR 4/4 du code Munsell) ou au rouge-jaunâtre (5 YR 4/6)

Lorsque les sols sont travaillés et nus (en fin de saison sèche) cette différence de teinte se perçoit aisément sur le terrain et la limite entre les deux types de sol est nette.

Le ralentissement du drainage de ces sols a pour effet, dans ce qui reste de l'horizon B au dessus de la zone d'altération, d'y provoquer une certaine mobilisation du fer oxydé (par hydratation ou réduction), une destruction partielle des pseudo-sables et donc de compacter légèrement le matériau et de réduire peu à peu sa perméabilité. La densité apparente est de l'ordre de 1,42, alors qu'elle n'est que de 1,30 dans les sols rouges à pseudo-sables. C'est un exemple de "rétroaction" en chaîne : l'infiltration, ralentie en profondeur, induit une dégradation des propriétés initiales du sol situé au dessus qui, à son tour, devient moins perméable ; cette évolution favorise les écoulements hypodermiques aux dépens des infiltrations profondes, ce qui a pour conséquence la dégradation des argiles dans la partie inférieure du sol qui s'enrichit donc relativement en sable.

Chimiquement, ces sols ferrallitiques légèrement tronqués, sont semblables aux sols rouges profonds, c'est à dire qu'ils sont très pauvres en tous les éléments. Le complexe absorbant a une capacité d'échange de 5 à 6 mé %, et il est saturé à moins de 6 %. Le pH, acide, est de l'ordre de 5,6.

La réserve en eau utile est très faible (2,5 à 3 %) dans l'horizon supérieur plus sableux (début de "lavage"), de 40 cm d'épaisseur ; en dessous, le sol, plus argileux, a une réserve utile un peu moins faible (4 à 5 %).

Aptitude à la culture du café :

Ces sols ont encore une aptitude correcte pour le café en culture industrielle.

Ils sont cependant moins intéressants que les sols rouges profonds des sommets de plateaux ; ils sont en effet plus compacts ; la profondeur utile d'enracinement est plus réduite, et les racines sont moins denses. Il faut compter sur une profondeur utile de 1 m à 1,20 mètres ; dans cette tranche de sol la réserve en eau utile est de l'ordre de 55 mm, ce qui est faible.

Un autre facteur dépréciatif pour la culture de caféier est le léger ralentissement du drainage interne ; ce régime hydrique, sans causer un engorgement prolongé très néfaste, peut temporairement, pendant des périodes très pluvieuses, faire souffrir le caféier ; il n'est cependant pas possible d'affirmer a priori si les rendements en seront sensiblement affectés, par rapport à ceux qui seront obtenus sur les sols rouges à drainage rapide.

Les facteurs topographiques sont également un peu moins favorables que sur les sols rouges. Les pentes peuvent atteindre 12 %. Les dispositifs antiérosifs adéquats seront à prévoir (voir plus loin).

Ce type de milieu intéresse 575 hectares. Toutes les unités du Nord qui dominent immédiatement le Rupashe sont petites, morcelées et difficiles d'accès et seront difficilement aménageables. Au total la "superficie utile" sera de l'ordre de 450 hectares.

7 - LES SOLS FERRALLITIQUES TRONQUÉS

Cette unité de milieu occupe la partie aval de la toposéquence dominée au sommet par les sols rouges ferrallitiques profonds. Ici, nous sommes sur les flancs des interfluves convexes, la plupart du temps à pentes fortes (5 à 12 %). L'élimination de l'horizon B des sols ferrallitiques a été totale ; cette troncature a même entamé la zone d'altération sous-jacente. C'est à proximité de la Ruspashe et de la N'daombera que ces processus de décapage ont été les plus intenses ; le réseau hydrographique y est dense et très encaissé, délimitant des interfluves étroits et convexes sur lesquels les glissements et l'érosion en nappe ont balayé les sols rouges.

Ce type de milieu se reconnaît aisément dans le paysage par le très net changement de végétation qu'on y observe, par rapport aux zones hautes des croupes et plateaux : alors que sur les sommets, la végétation est composée d'une savane arbustive ou arborée avec quelques noyaux forestiers, sur les flancs aval, à sols ferrallitiques tronqués, se trouve une savane arbustive très basse exclusivement à *Protea madiensis* d'environ 1 mètre de haut. Le couvert graminéen, en plus des *Hyparrhénia*, *Loudetia*, *Themeda*..., comporte une forte proportion de petites cyperacées. Lorsque

le milieu est très "dégradé" la savane arbustive disparaît et est remplacée par un "tapis de plantules" très serrées, toujours vertes, composées d'espèces ligneuses ne dépassant pas 20 cm de haut, ces plantules étouffent toute autre forme de végétation. Elles résultent sans doute d'une dissémination par les vents d'Est, des graines issues d'arbres parfois assez éloignés du site.

Le passage d'un type de végétation à un autre, sur un même versant, est souvent assez brutal. On passe par exemple sans gradient de transition de la "savane basse" à *Protea* à la savane arbustive ou arborée plus haute et plus dense. Une telle répartition n'a pas une origine "anthropique", comme on pourrait le penser, mais est le résultat d'un changement édaphique, plus particulièrement d'une modification de régime hydrique dans le sol.

Les sols :

En profondeur, à partir de 1 mètre, se trouve la zone d'altération du gneiss ou du micaschiste, non "dégradée" par la pédogénèse superficielle actuelle. Il s'agit d'une altération ferrallitique ancienne, qui peut avoir plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur et qui est imbibée à la base par une nappe phréatique où se continue l'hydrolyse des minéraux. Cette altérite a une couleur "saumon", rose, rouge clair ou ocre. Elle est de texture limoneuse ; des paillettes de mica sont généralement abondantes, plus fines dans les micaschistes ou séricitoschistes que dans les gneiss et les pegmatites. Le matériau est peu structuré (pas de fentes, pas d'agrégats bien formés), et compact (la densité apparente γ est de 1,6 à 1,7). Les racines γ sont toujours peu nombreuses .

Au dessus de cette zone d'altération non "dégradée" se trouve des horizons qui résultent de sa dégradation, c'est à dire de son évolution actuelle sous l'effet d'un régime hydrique particulier : les eaux de pluies, qui s'infiltrent difficilement et lentement dans la zone d'altération peu structurée, s'écoulent obliquement dans la partie supérieure de ce matériau et finissent par y créer un horizon "lavé" : les minéraux argileux s'y dégradent et sont éliminés par lessivage oblique. En saison des pluies, une nappe perchée de versant, temporaire, se crée, sur une épaisseur de l'ordre de 50 à 100 cm ; elle circule tangentielllement sous forme d'un "écoulement hypodermique" qui se charge de l'évacuation des argiles. Dans sa partie supérieure, sur environ 50 cm, le sol présente donc une texture plus grossière, limono-sableuse, à sablo-limoneuse, suivant la richesse et la taille des grains de quartz contenus dans la roche mère. Dans les sols sur micaschistes et séricitoschistes (Nord du périmètre, au Sud de la Rupashe) le sable est toujours très fin, pouvant atteindre la taille des limons, de sorte que l'horizon "lessivé" est limono-sableux à limoneux. Par contre sur gneiss ou sur granite, au Sud de la N'daombera, le sol est plutôt sablo-limoneux. L'horizon lessivé, de couleur beige, présente une structure massive, mais une bonne porosité tubulaire ; sa densité apparente est comprise entre 1,3 et 1,4.

La transition entre l'horizon supérieur dégradé et lessivé et le substratum d'altérite non encore touché, n'est pas brutale ; on observe un *horizon intermédiaire*, en cours de dégradation, de 20 à 60 cm d'épaisseur montrant une juxtaposition de noyaux d'altérite "sains" rosâtres, séparés par des langues sableuses verticales de couleur beige.

En définitive, ces sols que nous avons appelés "ferrallitiques tronqués" pour des raisons d'homogénéité et de cohérence avec les sols situés en position amont, montrent une évolution superficielle et une morphologie qui les rapprochent des "*sols ferrugineux tropicaux lessivés*". L'évolution actuelle, dans la partie supérieure du sol, n'a plus rien à voir avec les processus de ferrallitisation. Elle affecte un matériau qui a subi une ferrallitisation ancienne ; cette altération se poursuit cependant à très grande profondeur, dans la nappe phréatique. Il y a actuellement une "disjonction" entre d'une part la pédogénèse et le régime hydrique de surface qui affectent cette altération ancienne, et d'autre part, l'hydrolyse de la roche et le régime de nappe phréatique profonds. Ces 2 processus sont indépendants et séparés par une tranche épaisse d'altérite ancienne ; celle-ci est relativement "inerte" dans la mesure où actuellement sous les conditions phyto-climatiques présentes, les eaux de pluies y percolent peu et y engendrent donc moins de processus physico-chimiques et d'argilification.

Les caractéristiques chimiques de ces sols montrent une extrême pauvreté. Dans l'horizon "lessivé" la capacité d'échange du complexe absorbant est comprise entre 3 et 4 mé %. Le pourcentage de saturation est compris entre 1 et 4 %. Dans la zone d'altération sous-jacente la capacité d'échange est à peine plus élevée (5 à 6 mé %), et la saturation de 3 à 5 %. Le pH est de l'ordre de 5,5.

Aptitude à la culture du caféier :

Les deux contraintes majeures qui font que ce type de milieu convient mal au caféier sont :

- d'une part, la compacité et l'absence de structure du sol, très défavorables à l'enracinement, donc à une bonne exploitation des réserves hydriques et minérales. Ces mauvaises propriétés physiques limitent fortement le volume "utile" de sol exploitable.

- d'autre part, et surtout, l'engorgement saisonnier qui affecte la partie supérieure du sol, sur 50 à 100 cm. Cette hydromorphie due à une "nappe perchée de versant", bien que temporaire, est très néfaste à l'enracinement du caféier dont l'exigence essentielle est un drainage parfait et une bonne aération permanente.

Ces deux contraintes, qui commencent à apparaître sur les sols ferrallitiques faiblement tronqués (unité précédente) situés un peu en amont, et dont on pouvait alors s'accommoder, paraissent ici devoir déprécier fortement le rendement du café. Ce type de milieu

sera donc à écarter absolument. Il est présent essentiellement entre les rivières Rupashe et N'daombera, dans la partie Nord du territoire cartographié.

8 - LES VERSANTS CONVEXES ESCARPES

Il s'agit des versants qui bordent directement les bas-fonds encaissés, et qui correspondent au maximum de convexité et de pente des interfluves, résultant de la dissection des anciens glacis. La pente est toujours supérieure à 20 % ; elle peut dépasser 100 % avant d'arriver au bas-fond sub-horizontale ou concave. Il y a alors toujours une rupture de pente brutale ou un fort point d'inflexion entre bas de versant et bas-fond.

Nous avons vu (chapitre "géomorphologie") comment s'explique la "convexisation" progressive du versant lors du défonçage des glacis d'origine, par soutirage basal, à partir du moment où l'encaissement du talweg atteint la nappe phréatique.

Malgré les fortes pentes, les versants ne montrent pas de ravinements; il n'y a donc pas de ruissellement linéaire sous végétation graminéenne naturelle. Par contre, il y a un fort ruissellement en nappe.

Les sols sont des ferrallitiques fortement tronqués, c'est à dire que la zone d'altération est en surface.

Cette unité de milieu forme une bande systématique de 30 à 200 de large en bordure de tous les bas-fonds ; du fait de sa topographie très défavorable elle ne convient pas à la culture industrielle du caféier. Il conviendra donc d'éviter que les blocs de culture situés sur les sommets d'interfluves empiètent sur ces versants.

9 - LA TERRASSE ANCIENNE

Des lambeaux d'une "terrasse ancienne" bordent certains tronçons de la Rupashe et de la N'daombera. Suivant les endroits, ces replats sont en surplomb de un à plusieurs mètres au-dessus du fond de la vallée marécageuse. Les lambeaux de terrasse occupent deux positions privilégiées:

- *Les rives droites de la Rupashe et de la N'daombera :*

Ces grandes vallées sont en effet dissymétriques ; ainsi la N'daombera, 2 à 3 km à l'amont de sa confluence avec la Rupashe, montre une rive gauche très abrupte ; les versants passent à de véritables escarpements. Sa rive droite, au contraire est plus régulière ; les interfluves, à pentes relativement faibles et à allure de glacis sont séparés du fond de vallée proprement dit, par des lambeaux de terrasse, de 50 à 200 mètres de large.

- Les zones de confluence de plusieurs bas-fonds

Le cas le plus frappant est la grande confluence des bas-fonds qui alimentent la N'daombera, au milieu du périmètre cartographié. Les interfluves délimités par ces bas-fonds convergents se terminent par des replats en lanières qui représentent des restes de terrasse.

Ces replats sont occupés le plus souvent soit par une savane à *Protea* rabougris (moins de 1 mètre de haut) soit par un "tapis de plantules" étouffant toute autre végétation.

Les matériaux et les sols :

Les lambeaux de terrasse ne montrent pas de recouvrement alluvial ou colluvial; ils s'appuient directement sur l'altérite de gneiss, de micaschiste, ou de granite. Il s'agit de restes d'anciens bas-fonds qui ont été emboîtés par le système de bas-fonds actuels des suite de la baisse du niveau de base général. Là où la terrasse ancienne n'existe plus, elle a été éliminée par "défonçage" et "convexisation" sous l'action du soutirage basal dû à la nappe, suivant les mêmes principes qui ont joué pour la dégradation des glacis de piémont (voir précédemment).

Les sols sont des sols hydromorphes à pseudogley, lessivés. C'est à dire qu'ils sont soumis à une nappe perchée qui engorge et dégrade leur partie supérieure, suivant les mêmes processus, mais encore plus intenses, que ceux qui agissent sur les sols ferrallitiques tronqués. L'hydromorphie est ici plus marquée car les eaux de la nappe perchée sont alimentée par les eaux de ruissellement (hypodermique et de surface) de tous les versants dominants; d'autre part sur la terrasse, cette nappe perchée circule plus lentement; l'engorgement y est plus intense et plus prolongé.

Ces sols ont donc tous les défauts, et en beaucoup plus accentués, des sols ferrallitiques tronqués. Ils sont donc à prohiber pour la culture du caféier. Ils représentent de toute façon une très faible proportion de la superficie totale du périmètre.

10 - LA FRANGE HYDROMORPHE DES BAS DE VERSANT

Dans la région cartographiée, cette unité de milieu représente très peu de choses.

Certains bas-fonds, ceux qui sont les moins encaissés, en particulier, dans la partie supérieure du réseau hydrographique de la N'daombera, sont bordés par des bas de versants concaves et hydromorphes, formant une frange de 20 à 100 mètres de large. A cet endroit, l'interfluve à sols rouges, a gardé son modèle de glacis de piémont, il a été

peu "dégradé" et le réseau de bas-fonds ne s'y est pas encaissé très profondément comparativement à ce que l'on voit plus en aval du bassin versant.

Les nappes phréatiques sur les bas de versant, peuvent à ces endroits particuliers y avoir des actions superficielles. La nappe, qui suinte en permanence dans les bas-fonds proprement dits, est affleurante ou subaffleurante en saison des pluies sur les bas de versants. Partout ailleurs, lorsque les bas-fonds sont fortement imprimés et bordés par de grands versants pentus et convexes (ce qui est le cas le plus général sur notre périmètre), la nappe y est beaucoup plus profonde, et même lorsqu'elle gonfle en saison des pluies, ne peut atteindre la surface de l'interfluve.

Les actions physico-chimiques de la nappe sur les bas d'interfluves, qui aboutissent à la formation de *sols hydromorphes à gley "lessivés"*, sont les suivantes : en saison des pluies, le niveau piézométrique remonte, et vient affleurer ; la frange supérieure de la nappe, du fait de sa pente, s'écoule alors latéralement vers le bas-fond voisin, en ayant un action de "lavage" du fer et de dégradation des argiles dans le matériau d'altération ; il se crée alors un horizon sableux (gley "lessivé") de 20 à 100 cm d'épaisseur dans la partie supérieure du sol, correspondant à cette circulation latérale ; ce sable résiduel repose sur une argile tachetée (gley oxydé) où la nappe fluctue verticalement. Mais ces processus physico-chimiques dus aux mouvements de nappe phréatique ont également des conséquences sur le modelé : le soutirage de matériau par le haut (et peut être aussi par le bas, dans la roche pourrie gorgée par la nappe), provoque une "concavisation" progressive des bas de versants ; ceux-ci donnent l'impression de se déprimer ; ils acquièrent un profil convexo-concave dont le point d'inflexion coïncide avec la limite amont de l'émergence (ou de la sub-émergence) temporaire de la nappe pendant une partie de la saison des pluies. Cette frange hydromorphe correspond donc à un petit "glacis géochimique" qui tend à élargir le bas-fond.

- *Aptitude à la culture du caféier :*

L'engorgement prononcé des sols en saison des pluies interdit la culture du caféier sur ce type de milieu. De toute façon celui-ci n'occupe qu'une superficie très minime.

11 - LES BAS-FONDS

Ils forment un des éléments essentiels du paysage. Nous avons déjà étudié leur mode de formation (première partie). Nous n'y revenons donc pas en détail. Bien que ces bas-fonds ne présentent évidemment aucune valeur pour le caféier, leur étude présente cependant un intérêt, pour le plan d'aménagement d'ensemble, l'exploitation des ressources en eaux, les travaux d'infrastructure...

Rappelons cependant les caractéristiques communes des bas-fonds de la région :

- *morphologie* : les bas-fonds sont encastrés entre des versants convexes à pentes fortes ; ils présentent généralement un profil transversal horizontal au centre, légèrement concave sur les bordures. Longitudinalement la pente est sensible, et peut atteindre 5 %. Le bas-fond est d'autant plus concave et à pente longitudinale forte que l'on se trouve dans sa partie amont. La largeur du bas-fond n'a généralement rien à voir avec la taille de son bassin versant ; c'est un des caractères qui distinguent un bas-fond d'une vallée alluviale. Il montre au contraire fréquemment un élargissement en tête qui peut avoir une forme d'amphitéâtre ; la largeur est toujours très variable (20 à 200 mètres) ; le bas-fond montre souvent des successions de rétrécissements et de lobes. Enfin, il est généralement non ou peu entaillé ; il ne présente pas de véritable cours d'eau central ; lorsqu'il y a une incision, celle-ci est très fine et sinueuse ; elle draine les eaux de nappe en saison sèche, mais elle est insuffisante pour drainer les eaux de saison des pluies, ce qui est d'ailleurs incompatible avec son régime hydrologique de remontée de nappe. Il s'agit davantage d'un chenal de vidange, creusé par le reflux des eaux après la fin des pluies que d'un chenal de débordement alimentant la vallée en inondation et alluvions ; il n'y a d'ailleurs jamais de bourrelets de berge.

- *matériaux et sols* : les bas-fonds ne sont pas remplis d'alluvions, contrairement à ce que l'on pourrait supposer d'après la largeur de la vallée. Quand on fait un trou dans un bas-fond, on atteint très rapidement, (à moins d'un mètre généralement), la roche pourrie micacée (arène) gorgée par la nappe phréatique. Au dessus, on peut avoir une faible couverture de colluvo-alluvions ; ces matériaux ont cependant subi un faible transport, essentiellement latéral en provenance des versants à pentes fortes dont les altérites ont glissé ; celles-ci ont ensuite été redistribuées et étalées sous forme de boue.

Les sols sont des sols hydromorphes à gley, souvent tourbeux ou semi-tourbeux ; la nappe phréatique, toujours affleurante ou sub-affleurante (en saison sèche), ne permet pas la décomposition totale et l'humification des débris végétaux. Il s'agit la plupart du temps d'un "limon tourbeux" de 20 à 100 cm d'épaisseur, reposant sur le sable micacé minéral gorgé d'eau.

- *végétation* : il s'agit d'une végétation aquatique ou semi-aquatique à *fougères aquatiques*, *cypéracées*, *Echinochloa*, *chloris gayana* ; sur les bordures à pentes plus fortes, où les suintements de nappe peuvent s'écouler sans trop stagner, on observe des *Andropogon* et des *Hyparrhenia*. La petite entaille centrale, facultative, est bordée d'arbustes (*Syzygium*) et de *Typha*.

- *régime hydrologique* : les bas-fonds sont les lieux d'émergence et de drainage de la nappe phréatique générale qui baigne les altérites profondes des interfluves. D'ailleurs, le stade "bas-fond" est le stade de maturité vers lequel tend l'enfoncement du réseau hydrographique stabilité de la vallée est atteinte à partir du moment où celle-ci recoupe la nappe phréatique. Il n'y a alors pratiquement plus d'évacuation de matériaux issus du creusement ; le niveau de base local des eaux de nappe est atteint. Celles-ci continuent cependant à circuler ; il y a engorgement quasi permanent du fond de la vallée, mais pas confinement ; le milieu hydrologique est "ouvert" vers la Rupashe qui assure l'évacuation de l'excédent d'eau, dû au gonflement des nappes mais aussi au ruissellement issu des interfluves. Le coefficient de ruissellement sur les interfluves est d'ailleurs variable et dépend de la nature du sol et de la végétation. Il est beaucoup plus important sur les sols ferrallitiques "tronqués" que sur les sols ferrallitiques rouges profonds.

TROISIEME PARTIE

MISE EN VALEUR - AMENAGEMENTS

Dans ce qui précède nous nous sommes efforcés d'évaluer au mieux, compte tenu du temps et des moyens dont nous disposons, les composantes fondamentales du milieu physique ; les contraintes et facteurs favorables ont été inventoriés, appréciés et hiérarchisés du point de vue qualitatif, quantitatif et spatial. Cet inventaire est matérialisé par la carte morphopédologique à l'échelle du 1/20 000.

Toutes ces données de base doivent contribuer, à ce niveau de "faisabilité" du projet, à proposer une première ébauche d'aménagement du périmètre. Ces propositions devront également tenir compte dans une grande mesure, d'informations, enquêtes et études recueillies ou faites par des spécialistes d'autres disciplines, en particulier : agronomie du café, hydrologie, hydraulique agricole, génie rural, économie, socio-économie.

Nous nous bornerons ici à évoquer certains aspects spécifiques imposés par l'environnement de la région et la répartition des unités de milieu :

- . disponibilité en terres et disposition du parcellaire
- . conservation du patrimoine sol : lutte contre l'érosion
- . lutte contre les effets néfastes du vent
- . problèmes d'irrigation : aménagements hydrauliques et besoins en eau
- . fertilisation.

Il s'agit essentiellement, à ce stade du projet, de mentionner les problèmes auxquels il faudra faire face lors de l'implantation du complexe caféier, et de donner certaines orientations dans les limites que nous permettent la connaissance du terrain et les échanges d'informations que nous avons eues avec les autres spécialistes.

1 - DISPONIBILITES EN TERRES - DISPOSITION DU PARCELLAIRE.

Sur les 4500 hectares cartographiés, environ 1650 hectares conviennent théoriquement à la culture industrielle du café. Ces 1650 hectares sont répartis ainsi :

- . 925 hectares d'aptitude très bonne (1ère catégorie)
- . 575 hectares d'aptitude bonne (2ème catégorie)
- . 157 hectares d'aptitude moyenne (3ème catégorie).

Ces superficies théoriques devront être réduites ; en effet la forme, la taille, l'isolement ou la position topographique de certaines unités sont peu compatibles avec un aménagement économique.

En ce qui concerne les terres d'aptitude très bonne (sols rouges profonds), il faudra probablement éliminer toutes les unités de moins de 10 hectares limitées par des vallées encaissées, qui sont situées en contrebas immédiat des collines de M'bura, où l'aménagement hydraulique et l'accès seront très coûteux... Au total, la surface "utile" brute de cette catégorie de sol se monte à environ 865 hectares.

Pour les terres de la 2ème catégorie (sols ferrallitiques légèrement tronqués) une bonne centaine d'hectares est sans doute à éliminer pour des raisons identiques de morcellement et de très mauvaise accessibilité. La surface utile brute est de l'ordre de 475 hectares. Les terres de la 3ème catégorie, quant à elles, sont utilisables en totalité, car facilement accessibles et aménageables.

En définitive environ 1500 hectares bruts pourront donc en principe être utilisés. Les trois grands ensembles les plus faciles à aménager, vus sous l'angle taille et situation géographique, sont les piémonts du dôme de M'buzi (sur lequel pourra passer un axe d'accès principal), les blocs situés à l'Est de la piste Msese-Makhuwila, et enfin le vaste ensemble situé entre les reliefs de M'bura et la rivière Chizimba. Pour ces dernières terres il y aura peut-être quelques difficultés d'ordre social ; elles sont en effet cultivées ou en jachères ; les plantations de café traditionnelles, qui sont le principal obstacle à la récupération des terres pour le projet, y représentent cependant une faible superficie. Ces terrains sont cultivés plus qu'ailleurs sur la zone cartographiée, mais de toute façon beaucoup moins que sur la rive gauche de la Chizimba et dans la région de Msese. Les terres situées à l'Est de la piste sont également en grande partie utilisées ou en cours de défichement.

En réalité, les seules bonnes terres encore peu touchées par l'homme sont situées, soit au piémont oriental des collines de M'bura, soit sur le vaste interfluve Rupashe-N'daombera ; mais ce sont aussi les zones qui, du fait de leur relative difficulté d'accès, seront les moins aisées à aménager.

Avant toute décision technique, une petite enquête sociale nous semble donc indispensable, afin de savoir dans quelles mesures et à quelles conditions (recasement, montant des indemnités...) les terres seront réellement disponibles. Cet aspect sera important à prendre en compte lorsqu'on établira l'ordre de priorité et le calendrier des blocs à mettre en culture.

2 - CONSERVATION DU SOL - LUTTE CONTRE L'EROSION

Nous avons vu que les terres des trois catégories retenues, étaient toutes très sensibles à l'érosion, l'érosion en nappe en particulier. Les sols sont en effet riches en sables ou en pseudo-sables, et leur structure est fragile ; d'autre part, les pentes ne sont pas négligeables ; sur les blocs retenus elles sont comprises entre 3 et 20 %. Plus de la moitié des terres reconnues aptes à la culture du caféier n'a pas de fond topographique. Sur le restant il en existe un . à l'échelle du 1/10 000 (courbes de niveau tous les 5 mètres), obtenu par photo-restitution. Il sera indispensable de compléter cette cartographie sur la totalité des blocs.

Les terres sont particulièrement fragiles pendant les premières années qui suivent les plantations, jusqu'à ce que les caféiers couvrent correctement le sol. Le problème sera moins crucial s'il est envisagé des plantations de caféiers de la variété *Caturra* ("Bourbon"), variété naine qui se plante généralement en forte densité (jusqu'à 10 000 pieds à l'hectare) ; dans ce cas la couverture du sol est assurée assez rapidement. Les variétés *Arabica* ("typica"), locales ou d'origine éthiopienne, telles *Geisha* et *Agaro*, qui se plantent entre 1500 et 3000 pieds/ha, sont plus dangereuses pour l'érosion, en grande plantation industrielle.

A toutes les étapes de l'installation et de l'exploitation des plantations, il faudra avoir le souci de la conservation du sol, en combinant les techniques "bio-culturelles" et les aménagements proprement dits. Tout sera fait impérativement suivant les courbes de niveau, quelque soit la pente :

2.1. Travaux de défrichement et de préparation des terres

Les déboisements, lorsqu'ils seront nécessaires, devront se faire de préférence à la main, en particulier le dessouchage, de façon à ne pas détruire la structure du sol déjà très fragile. Les travaux du sol devront être réduits au minimum ; seul un labour préliminaire (en courbes de niveau) sera nécessaire en saison sèche afin d'enfouir les herbes. Il sera suffisant sur les sols rouges profonds et friables (1ère catégorie). Sur les 2ème et 3ème catégories, plus compactes en profondeur, il sera peut être utile de faire un sous-solage à 75 cm, surtout dans la partie aval des blocs, où les sols sont les plus tronqués et où la zone d'altération massive est la plus proche de la surface. Enfin aura lieu la trouaison et la plantation.

2.2. La densité de plantation devra trouver un compromis compatible avec les travaux agricoles (la récolte en particulier) et la protection du sol. Pour le *Caturra*, par exemple, on pourra retenir une densité de 5000 pieds/ha : écartement des pieds de 1 mètre sur la ligne (en courbe de niveau), et espacement de 2 mètres par interlignes.

2.3. La couverture des interlignes devra être particulièrement étudiée pendant les 2 ou 3 premières années. Plusieurs solutions sont envisageables :

2.3.1. Le paillage (*mulching*) : le mulch, en plus de sa protection efficace du sol, à deux autres avantages : il limite l'ETP (donc peut réduire les besoins en eau d'irrigation), et il empêche la prolifération des adventices ; en plus, son rôle fertilisant n'est sans doute pas négligeable. Dans la région, en plantations paysannes, cette pratique est systématique ; elle y a pour but surtout de limiter l'évapotranspiration, les petites plantations n'étant jamais irriguées. Les paysans utilisent le plus souvent des herbes naturelles (*Hyparrhenia*, *Andropogon*, fougères...) ou les résidus de récoltes du maïs. Certains, très rares, cultivent spécialement du *Pennisetum purpureum* ("herbe à éléphant"). La plupart du temps, la totalité du sol, entre les caféiers (souvent très espacés), est couverte. Cette technique, valable pour les petites superficies (quelques pieds à quelques centaines de pieds en plantation traditionnelle), est beaucoup plus contraignante en grande plantation industrielle ; elle nécessite impérativement la création de parcelles à *Pennisetum*, cultivées exclusivement dans ce but, et qui occuperont alors des superficies considérables qui ne devront pas être prises sur les "bonnes" terres, ce qui exclut le système de culture en "bandes alternées" (*strip-cropping*). L'épandage des pailles aura lieu tous les ans ; il pourra se faire tous les deux interlignes (en alternant chaque année) ou tous les interlignes. Cette dernière solution est préférable sur les terres à pentes supérieures à 8 % et sur les terres de la catégorie trois, plus spécialement sensibles à l'érosion car plus riches en sables quartzeux.

Le gros danger du mulch est le feu. En saison sèche, il y a des feux de brousse partout, entretenus par des vents constants à partir de juillet. L'atténuation du vent par des brise-vent et la lutte contre le feu (*pare-feu*), sur le périmètre seront à prévoir par ailleurs.

2.3.2. Les plantes de couverture : il s'agit cette fois d'une protection vivante, dont l'efficacité dépendra de la plante choisie. Il faut une plante à la fois rapidement couvrante et non concurrentielle pour les jeunes caféiers. Les légumineuses, à système pivotant, puisant l'eau en profondeur, et apportant de l'azote au sol sont les plus intéressantes. On peut penser a priori à : *Flemingia*, *Pueraria*, *Mimosa invisa*, *Vigna oligosperma*, espèces déjà utilisées avec succès ailleurs dans le monde. Cependant leur adaptation à l'écologie de la région devra être expérimentée ; il faudra également inventorier les espèces locales susceptibles de mieux convenir.

Un inconvénient des plantes de couverture est qu'elles imposent des travaux d'entretien réguliers et assez fréquent, le *Pueraria* par exemple couvre vite le sol mais il est très volubile et peut, s'il n'est pas rabattu en saison des pluies, étouffer les jeunes caféiers. Pour réduire tout risque de compétition il faudra laisser un espace non couvert (environ 40 cm) de chaque côté des lignes de caféier.

2.3.3. *Les cultures vivrières entre les lignes* : cette technique consiste pendant les 2 ou 3 premières années à essayer de protéger le sol et en même temps de le faire produire, dans l'interligne. Les plantes les plus intéressantes sont les légumineuses : haricots, arachides, soja. L'inconvénient majeur est, qu'en début de la saison des pluies le sol n'est pas encore couvert et que la protection anti-érosive à cette époque est nulle. Nous ne conseillons donc pas les cultures intercalaires sur les pentes qui dépassent 3 % et sur les sols fragiles comme ceux du périmètre.

En dehors de cette faible efficacité anti-érosive, la préparation du sol, l'entretien et les récoltes de cultures vivrières intercalaires sur des superficies aussi grandes demanderont une main d'oeuvre très importante qui sera peut être indisponible. A Msese, cette pratique nous semble donc à exclure.

2.4. *Les aménagements : banquettes, levées, fossés, routes...*
ils auront pour buts, d'une part de réduire la cinétique des eaux de ruissellement, à l'origine de l'érosion en nappe et du ravinement, d'autre part de favoriser la pénétration des eaux pluviales et le remplissage du réservoir sol.

Plusieurs techniques pourront être envisagées ; elles devront être adaptées aux pentes, au système d'irrigation qui sera retenu, et à la physiographie du terrain (largeur des interfluves, forme du réseau de bas-fonds). On pourra s'inspirer de l'expérience et des recommandations des planteurs de café du Zimbabwe, où les conditions écologiques sont assez semblables à celles du Malawi ; ils préconisent les systèmes simples suivants :

2.4.1. *Création d'un système de banquettes ou de levées*
Ces ouvrages doivent avoir une pente de 2 à 5 % afin d'assurer l'écoulement des eaux.

. *Pour les pentes inférieures à 12 %*, le système de larges banquettes (hautes de 30 à 50 cm et larges d'environ 2,5 mètres) est le plus indiqué, à l'amont, un fossé évasé de 30 cm de profondeur canalise les eaux. Ces banquettes auront un espacement compris entre 75 mètres (pentes de 12 %) et 150 mètres (pentes de 3 %).

. *Pour les pentes supérieures à 12 %* (ici, comprises entre 12 et 20 %), un système de levées, plus étroites (1,5 mètre), plus hautes (90 cm) et plus rapprochées (espacement de 57 à 62,5 mètres) que les banquettes, est préconisé. Le fossé amont aura 1,5 mètres de large et 30 à 50 cm de profondeur.

2.4.2. *Les chemins d'eau* : les eaux en excès non infiltrées, collectées à l'arrière des banquettes ou des levées, ne devront pas ruisseler sur plus de 200 mètres, afin de ne pas atteindre une vitesse érosive. Lorsque les interfluves dépassent cette largeur, ce qui est généralement le cas, il faudra construire des fossés, perpendiculaires aux courbes de niveau, chargés d'évacuer les eaux suivant les lignes de plus grande pente, vers les talwegs naturels (bas-fonds). Ces fossés auront une section parabolique. Pour leur dimensionnement on préconise 1,5 mètre de large et 0,5 mètre de profondeur par hectare drainé. Ces chemins d'écoulement des eaux seront enherbés (le *Paspalum* convient très bien).

2.4.3. *Les routes* : elles devront être situées soit sur les lignes de crête, soit parallèlement aux ouvrages antiérosifs (pente 2 à 5 ‰). Les routes seront légèrement bombées et délimitées par des fossés peu profonds enherbés en *Paspalum*. Au Zimbabwe, les routes des plantations ont des servitudes totales de 6 à 8 mètres pour les routes principales de crête et 3 à 4 mètres pour les routes secondaires, en courbes de niveau.

3 - L'IRRIGATION

3.1. *Phénologie locale du caféier. Périodes de besoin en eau*

3.1.1. *Pratiques traditionnelles* : malgré une longue saison sèche (début mai à mi novembre), les plantations paysannes (quelques pieds à une centaine de pieds) de la région de Msese ne pratiquent pas l'irrigation. Pour réduire l'évapotranspiration, les paysans plantent leurs caféiers dans des situations géographiques particulières, abritées des vents d'Est : sur les versants pentus des vallons ou en tête de bas-fonds. Le terrain est alors aménagé en terrasses de 1 à 3 mètres de large (pour 0,50 à 1 mètre de dénivellation), qui recueillent ainsi un maximum d'eau de ruissellement.

La pratique du mulch épais (graminées naturelles ou résidus de maïs), couvrant la totalité de la surface jusqu'aux pieds des caféiers, est systématique. D'autre part, les paysans, pour réduire les effets des vents, plantent souvent des brise-vent de bananiers ; certains ont planté des arbres d'ombrage à croissance rapide (*Grevillea*) qui servent aussi de brise-vent. Enfin pendant les 10 premiers mois de la plantation, les jeunes plants sont protégés du vent et du soleil (et des maladies) par des chapeaux de paille coniques.

Les plantations se font entre mi-décembre et février. La floraison débute en saison chaude, dès les premières pluies, début novembre et se poursuit jusqu'en décembre. La maturation des fruits commence 8 mois plus tard et s'étale sur une longue période, de juillet à octobre.

Malgré les précautions prises par les paysans pour réduire au maximum les effets du déficit pluviométrique, les caféiers montrent un peu partout (sauf dans les plantations extrêmement bien tenues et très bien abritées), de nombreux accidents phyto-sanitaires qui sont vraisemblablement encouragés par le déficit hydrique ; les plants qui souffrent de sécheresse sont affaiblis et beaucoup plus exposés aux maladies et parasites, spécialement aux attaques cryptogamiques, surtout la fusariose du tronc mais aussi l'antracnose et la cercosporiose. Parmi les parasites les plus virulents on trouve la mineuse des feuilles (chenille), puis le borer du tronc et des cochenilles. Les accidents de "die-back" sont courants ; ils sont dus à un épuisement du caféier après la production, favorisé certainement par le stress hydrique de la saison sèche.

3.1.2. Périodes d'irrigation en culture industrielle.

Les observations faites en milieu paysannal, nous confirment que l'irrigation d'appoint sera indispensable en grande culture, si l'on veut une production d'un bon niveau, saine et homogène, d'autant plus que dans ces conditions, contrairement aux petites plantations traditionnelles, les blocs ne seront pas abrités du vent dans les creux des vallons et que l'ETP sera donc plus élevée.

. L'irrigation devra prolonger d'environ 2 mois la saison des pluies, pour que la maturation des fruits se fasse dans de bonnes conditions, sans risquer l'épuisement des plants et le "die-back". On pratiquera ainsi une irrigation de mai à mi-juillet. Les réserves en eau utile des sols après la fin des pluies sont comprises entre 50 et 120 mm et seront très vite épuisées par l'ETP dès le mois de mai.

. La période fraîche comprise entre mi-juillet et fin-août correspond pour le café à une période de vie végétative ralentie, pendant laquelle l'irrigation ne sera pas nécessaire ; au contraire la sécheresse à cette époque a pour effet bénéfique de favoriser l'induction des bourgeons floraux, avant la reprise de l'irrigation.

. On reprendra l'irrigation deux mois avant le début habituel des pluies (15 novembre) soit de mi-septembre à mi-novembre. Dans ces conditions de bonne alimentation hydrique, 2 mois à 2 mois et demi après l'induction florale, donc en novembre, on observera une poussée florale abondante et régulière. Ainsi la maturation et la récolte seront peut être plus groupées en saison sèche (juillet) qu'elles ne le sont dans les petites exploitations traditionnelles.

3.2. Les besoins en eau

Les besoins en eau sont directement proportionnels aux données du bac d'évaporation classe A, le plus couramment utilisé ; il est en particulier préconisé dans les normes Rhodésiennes destinées aux plantations de café et dont on pourra s'inspirer. Un tel bac devra être installé le plus rapidement possible à Msese. en attendant, on peut faire une première approximation de l'évaporation sur le site, d'après les données des stations de la région de Lilongwe (voir précédemment).

Et/Eo, rapport entre les besoins du caféier et l'évaporation du bac classe A est généralement égal au pourcentage de recouvrement du sol par les caféiers. Pour les jeunes caféiers (moins de 2 ans) ET/Eo est ainsi de l'ordre de 0,2 ; en plantation pleinement productive, ce rapport est compris entre 0,6 et 0,8 suivant que les interlignes sont "mulchés" ou non.

. De début mai à mi-juillet, première période d'irrigation, Eo est de l'ordre, de 4 mm/jour. Les besoins en eau du caféier mûr mulché sera donc de 2,4 mm par jour, soit environ 72 mm par mois.

. De mi-septembre à mi-novembre, deuxième période d'irrigation, Eo est d'environ 8 mm/jour. Le caféier mulché nécessitera alors 4,8 mm/jour soit 145 mm par mois, le double des besoins de début de saison sèche. Ce sera la période de pointe.

Ces besoins pourront être réduits si on installe des *brise-vent* et lorsque ceux-ci auront acquis une hauteur suffisante pour réduire efficacement l'évaporation.

Les besoins bruts en eau d'irrigation dépendent de l'efficacité du système d'irrigation qui sera retenue ; en sol mulché les besoins seront les suivants :

- en irrigation localisée ($e = 0,9$) les besoins bruts seront respectivement de 80 mm pendant la 1ère période d'irrigation, et de 160 mm pendant la 2ème période.

- en irrigation par aspersion ($e = 0,8$) ces besoins bruts seront de 90 mm et 190 mm.

3.3. Pratique de l'irrigation

3.3.1. Les doses d'irrigation dépendent de la réserve en eau utile des sols (RU)

. Sur les sols rouges profonds (1ère catégorie) la profondeur d'enracinement du café sera de l'ordre de 2 mètres ; la réserve utile totale y est alors de 120 mm.

. Sur les sols ferrallitiques légèrement tronqués (2e catégorie) ; les racines exploitent 1 à 1,20 mètre de sol, la réserve utile totale sera de l'ordre de 60 mm.

. Sur les sols ferrallitiques du dôme granitique (3ème catégorie) la profondeur d'enracinement du caféier sera prise égale à 100 cm ; la réserve utile sera également de 60 mm.

Cependant seule une partie de la réserve utile est facilement disponible pour les racines. En effet, plus on se rapproche de l'humidité au point de flétrissement, plus l'eau est difficile à pomper ; d'où la notion de *réserve en eau facilement utilisable* (RFU) qui est généralement évaluée comme les 2/3 de la réserve utile (RU) ; cette RFU représente donc la dose d'irrigation à apporter. Pour les 3 catégories de terres, les valeurs de la RFU sont donc approximativement les suivants :

Catégorie 1 : 80 mm

Catégorie 2 : 40 mm

Catégorie 3 : 40 mm

3.3.2. Fréquence des arrosages :

Compte tenu des besoins mensuels bruts et des doses évaluées précédemment, les fréquences d'arrosage pour chaque catégorie de terre et pour les 2 périodes d'irrigation pourront être les suivantes :

. Catégorie 1 : 1 fois par mois pendant la période mai-juillet ; 2 fois par mois pendant la période de pointe (septembre-novembre).

. Catégorie 2 et 3 : 2 fois par mois pendant la période mai-juillet ; 4 fois par mois pendant la période de pointe (septembre-novembre)

Actuellement à ce stade préliminaire du projet tous ces paramètres concernant les besoins, les doses et les fréquences d'irrigation sont très théoriques car elles ont été calculées à partir de données peu précises, empiriques ou pas assez nombreuses. Elles ne constituent qu'une première approximation et seront affinées progressivement en fonction de l'expérience acquise, des données réelles indiquées par le bac classe A, du comportement des caféiers et des sols, du système d'irrigation etc....

3.3.3. Systèmes d'irrigation

Compte tenu de la physiographie du terrain trois systèmes peuvent être envisagés :

- l'irrigation par aspersion, au dessus des caféiers,
- l'irrigation en gouttières, le long des rangées de caféiers,
- l'irrigation localisée, au pied de chaque caféier.

- *L'irrigation par aspersion* : ce système arrose toute la surface du sol ; il présente un certain nombre d'inconvénients : son efficacité est moins bonne (0,8) que celle des autres systèmes ; il y aura des pertes par évaporation avant l'arrivée au sol, spécialement à Msesé où les vents sont importants. Si l'arrosage se fait pendant la journée (toujours très ensoleillée) il peut y avoir des brûlures du feuillage ; d'autre part ce système coûte cher ; il n'est pas économique pour les

jeunes plantations, car la plus grande partie de la surface est alors arrosée inutilement.

- *l'irrigation en gouttières* : l'eau est amenée par des conduites enterrées : de la conduite principale branchée sur la station de pompage, partent des conduites secondaires (espacées d'environ 60 mètres) également enterrées, d'où sortent des bornes espacées aussi de 60 mètres. Des tuyaux souples sont branchés aux bornes lors des irrigations ; ces tuyaux sont manoeuvrés manuellement pour irriguer des gouttières, délimitées par des petits bourrelets, aménagées le long des rangées de caféiers et couvertes de mulch.

Chaque borne dessert un carré d'environ 60 mètres de côté.

Ce système est plus efficient ($e = 0,9$) que l'aspersion, surtout dans les jeunes plantations ; cependant il demande un bon entretien. Un autre de ses avantages, en saison des pluies cette fois, est qu'il concourt à réduire la vitesse du ruissellement et à freiner l'érosion.

- *l'irrigation localisée* : l'arrosage se fait cette fois uniquement au pied de chaque caféier au moyen de goutteurs ou de simples perforations ("goutte à goutte" ou "micro-jet") espacés sur une rampe souple en polyéthylène de faible diamètre posée sur le sol. Les sections des tuyaux en plastique et des orifices sont très faibles ainsi que les débits (quelques litres par heure). Ce système est bien adapté aux conditions écologiques locales : les eaux sont claires, chargées ni en carbonates, ni en sel, de sorte que les bouchages ne sont pas trop à craindre. C'est le système le plus économique et le plus efficient ($e = 1$) puisque les pertes par évaporation ou drainage sont inexistantes. Le choix du type de goutteur le mieux adapté, la densité des goutteurs, l'espacement des rampes seront à déterminer essentiellement en fonction de la densité et de l'âge de la plantation.

3.4. Ressources en eau. Possibilités de retenues

Nous avons vu que les besoins bruts en eau d'irrigation pendant la saison sèche (en irrigation localisée et avec mulch) pouvaient être évalués ainsi :

. début mai-mi juillet : $800 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mois}$, soit, pendant 2,5 mois, $2000 \text{ m}^3/\text{ha}$; le débit fictif contenu est alors de $0,311 \text{ l/s/ha}$.

. mi septembre-mi novembre : $1600 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mois}$, soit pendant 2 mois, $3200 \text{ m}^3/\text{ha}$. Soit encore un débit fictif continu de $0,62 \text{ l/s/ha}$.

Les besoins totaux bruts pendant la saison sèche sont donc de $5200 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Nous avons observé qu'au mois de novembre (fin de saison sèche et pleine période de pointe pour l'irrigation) le débit de la Ruspashe, immédiatement après la confluence avec la N'daombera, était de l'ordre de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Théoriquement un tel débit permettrait d'irriguer en débit continu, pendant la période de pointe(septembre-novembre), 2400 hectares.

Cependant la surface réellement irrigable dépendra en fait du débit d'arrosage, donc du système d'irrigation adopté, de la périodicité, de la dose et de la durée d'arrosage. Supposons par exemple une irrigation au "goutte à goutte" à raison d'un goutteur par pied de caféier, soit, pour une densité de 5000 pieds à l'hectare 5000 goutteurs par hectare. Si chaque goutteur a un débit de 2 l/h , les besoins seront de 10000 litres/h/ha soit $2,8 \text{ l/s/ha}$. La "pluviométrie horaire" moyenne d'un système d'aspersion serait également de cet ordre de grandeur. Le débit de la Ruspashe permettra alors l'irrigation simultanée de 534 hectares seulement.

Pour les sols rouges profonds (catégorie 1) dont la dose d'arrosage (en période de pointe) est de $800 \text{ m}^3/\text{ha}$, l'irrigation, avec les paramètres précédents durera donc 79 heures, soit 6 à 7 jours à condition d'arroser 12 heures par jour. La fréquence d'irrigation pour les sols rouges étant de 2 fois par mois, le débit d'étiage de la Ruspashe, à l'aval du périmètre, ne permettra donc pas d'irriguer guère plus de 1000 hectares de sols de catégorie 1 pendant la période de pointe.

Pour les sols des catégories 2 et 3 dont la réserve facilement utilisable (RFU) est de 40 mm, la dose d'irrigation sera de $400 \text{ m}^3/\text{ha}$; l'irrigation durera alors moitié moins, soit environ 40 heures c'est à dire 3 à 4 jours si on arrose 12 heures par jour. La fréquence d'arrosage était de 4 fois par mois, on ne pourra donc irriguer que 500 hectares pendant cette période de pointe qui dure 2 mois.

Ces considérations, bien que très empiriques, nous indiquent cependant que le débit de la Ruspashe en fin de saison sèche 1981 aurait permis l'irrigation d'une superficie comprise entre 500 et 1000 hectares. Un pompage dans la Ruspashe serait donc théoriquement suffisant dans la première phase d'installation de la plantation, sans qu'il soit besoin de construire des ouvrages de retenue.

Nous insistons cependant sur la nécessité de faire des mesures de débit précises ; il faudra tenir compte du facteur "variabilité" de la pluviométrie dont dépendent vraisemblablement (mais dans quelle proportion ?) les débits de fin de saison sèche. Les relevés des 10 dernières années indiquent en effet que la pluviométrie totale annuelle peut varier du simple au double pendant une telle période.

Par prudence il ne faudra donc pas compter irriguer plus de 500 hectares, par simple pompage au fil de l'eau dans la Rupashe. Il faudra nécessairement envisager par la suite, la création de retenues artificielles.

Le dimensionnement et les emplacements des retenues seraient à étudier avec beaucoup de soin. A priori, des considérations sur le régime hydrologique particulier des altérites (voir précédemment), font préférer plusieurs petits ouvrages à l'aval de bassins versants de faible étendue (quelques kilomètres carrés) plutôt qu'un gros barrage sur la Rupashe très couteux et dont l'étanchéité sera difficile à assurer.

Les besoins totaux bruts en irrigation étant de 5200 m³/ha, il faudra prévoir, compte tenu des pertes par évaporation et des circulations d'eau latérales et verticales, une capacité d'emménagement d'environ 10000 m³ par hectare à irriguer.

4 - LUTTE CONTRE LES EFFETS NEFASTES DU VENT

Nous avons vu que dans cette région, le vent constitue une contrainte pour la culture industrielle du caféier. Le vent d'Est souffle pendant la saison sèche, surtout à partir de juillet, avec un maximum d'intensité et de fréquence, semble-t-il en octobre-novembre. Malheureusement, nous ne disposons pas de mesures d'intensités; l'installation d'un anémomètre est donc à prévoir à Msese. Les effets nuisibles du vent sont de plusieurs ordres :

- *Ils contribuent à augmenter l'ETP, donc les besoins en eau d'irrigation des caféiers, à une période où justement les autres paramètres climatiques (ensoleillement, températures, humidité de l'air) concourent eux-mêmes à une forte ETP ; c'est l'époque des besoins de pointe en irrigation.*

- *Ils occasionnent des dégâts mécaniques sur les jeunes caféiers, dès que ceux-ci ne sont plus protégés par leurs "chapeaux de paille", c'est à dire après 10 mois. Les plants sont alors très exposés à une infestation par les maladies, spécialement les champignons.*

- *Ils entretiennent la dissémination des maladies, les spores de champignons en particulier (*Fusarium*...).*

- *Ils favorisent les feux : l'ensemble de la couverture graminéenne naturelle brûle en saison sèche ; les vents seront donc un danger permanent pour les plantations "mulchées".*

Il faudra donc impérativement créer un réseau de brise-vent sur les plantations. La meilleure orientation des brise-vent est évidemment perpendiculaire aux vents dominants, c'est à dire Nord-Sud.

Cependant cette règle ne pourra pas être respectée partout puisque les haies devront s'adapter au dispositif anti-érosif, et donc suivre les courbes de niveau. En plus, on pourra en prévoir sur tous les sommets d'interfluvies, le long des routes d'accès.

En règle générale, on préconise, dans des conditions comparables au Zimbabwe, des écartements compris entre 25 et 100 mètres ; l'espacement sera d'autant plus réduit que la pente sera forte et exposée. On considère qu'une haie perpendiculaire au vent protège à l'arrière environ 7 fois sa hauteur.

L'espèce la plus adaptée à l'écologie de la région est *Grevillea robusta*. Sa croissance rapide (de l'ordre d'un mètre par an) le rend très vite efficace. *Pinus patula* peut également être utilisé. L'*Eucalyptus* très concurrentiel pour le caféier, doit être évité.

5 - FERTILISATION

Les analyses de laboratoire, nous confirment (car ce n'est pas une surprise), que ces sols ferrallitiques développés sur roches métamorphiques acides, quelque soit leur catégorie d'aptitude, sont chimiquement très pauvres. Le complexe absorbant présente une faible capacité d'échange : moins de 7 mé % dans les horizons minéraux (en dessous de 15 cm de profondeur) et 7 à 10 mé % dans l'horizon humifère. Le degré de saturation est toujours extrêmement bas (1 à 6 %) en dessous de 15 cm de profondeur ; il atteint 10 à 30 % dans l'horizon humifère. Le pH est compris entre 5,5 et 6 %, ce qui d'ailleurs, est un facteur favorable pour le caféier.

Ces sols sont donc très pauvres en bases échangeables (calcium magnésium et potassium). En ce qui concerne les réserves en phosphore, celles-ci sont également très faibles aussi bien en phosphore total qu'en phosphore assimilable.

Il y a donc vraisemblablement une carence en tous les éléments majeurs. De fortes fumures de redressement doivent être envisagées. En fumure d'entretien il faudra veiller surtout à la reconstitution des réserves en *potassium*, élément fortement prélevé par le caféier, et à une bonne alimentation *azotée*. Les prélèvements en phosphore par contre sont moins importants.

En fait les analyses de sols sont insuffisantes pour avoir une idée des carences. Les *analyses foliaires* de caféiers (correctement alimentés en eau) sont de meilleurs indicateurs. Des normes ont été établies au Zimbabwe donnant des seuils de concentrations dans les feuilles, en dessous desquels, le milieu est carencé ou déséquilibré.

Les planteurs de café du Zimbabwe, préconisent sur des sols équivalents du point de vue minéral, les doses d'entretien suivantes :

- . 1ère année : 70 kg/ha d'azote
60 kg/ha P_2O_5
70 kg/ha K_2O
- . 2ème année : 100 - 0 - 100
- . 3ème année : 130 -28 - 130
- . 4ème année : 180 -56 - 180
et suivantes

Les périodes d'application : les Rhodésiens préconisent une seule application annuelle de phosphore (superphosphate) en octobre. La potasse (chlorure de potassium) et l'azote (ammonitrate) sont fractionnées en 3 apports : 1/3 en octobre, 1/3 en milieu de saison, des pluies et 1/3 en fin de saison des pluies (mars).

En ce qui concerne les oligo-éléments, les carences les plus couramment observées sur caféiers, dans des sols comparables du Zimbabwe, sont les carences en bore et en zinc, quelques fois en magnésium. Il faut donc s'attendre à les trouver à Msese. Les déficiences sont le plus souvent corrigées au moyen de pulvérisations foliaires.

CONCLUSIONS

L'implantation d'un complexe caféier sur le site de Msese, présente, sous l'angle du milieu naturel, des *facteurs très favorables*. Ceux-ci s'accompagnent de *certaines contraintes* qui pourront être surmontées sans difficulté par des aménagements adaptés.

Dans les limites du territoire cartographié (4500 hectares), qui présente dans certaines zones un modelé accidenté et très disséqué, il existe en définitive un potentiel de *1650 hectares bruts* de terre présentant une aptitude très bonne à moyenne pour la culture industrielle du café. Ces 1650 hectares se répartissent en 3 catégories d'aptitude :

. *les sols de 1ère catégorie (aptitude très bonne)* : il s'agit des sols ferrallitiques rouges non tronqués, présentant d'excellentes propriétés physiques, très profonds, friables et drainants. Leur profondeur utile pour l'enracinement du café dépasse 2 mètres; la réserve en eau facilement utilisable (RFU) est de l'ordre de 80 mm. Cette catégorie représente 925 hectares bruts sur lesquels environ 865 hectares nets ("utiles") pourront être retenus, compte tenu des déchets dus à une localisation défavorable (mauvaise accessibilité, isolement) ou une taille trop petite.

. *les sols de 2ème catégorie (aptitude bonne)* : ce sont les sols ferrallitiques légèrement tronqués, encore épais mais, par rapport aux précédents, relativement plus compacts en profondeur et à drainage ralenti. Ces sols ont une profondeur "utile" de 1 à 1,20 mètres, et une RFU de 40 mm. Leur superficie totale est de 575 hectares, mais on ne pourra récupérer qu'une superficie nette approximative de 475 hectares.

. *les sols de 3ème catégorie (aptitude moyenne)* : il s'agit des sols ferrallitiques développés sur un flanc de dôme granitique; ils présentent une certaine compacité en profondeur et surtout, sont riches en sables grossiers, ce qui les rend particulièrement sensibles à l'érosion en nappe. Leur profondeur utile est d'environ 1 mètre, et leur RFU est de l'ordre de 40 mm. Cet ensemble a une superficie de 157 hectares dont la quasi totalité est utilisable.

Au total, nous disposons donc d'environ *1500 hectares* en ensembles compacts et homogènes, à pentes relativement faibles (3 à 20 %), en très grande partie déjà déboisés, donc sans problèmes de défrichements, facilement aménageables.

Les sols du périmètres (sols ferrallitiques fortement désaturés sur roches cristallines acides) malgré leurs propriétés physiques favorables, présentent tous une extrême *pauvreté chimique*. Ils sont carencés en tous les éléments majeurs et probablement en oligo-éléments nécessaires au caféier (bore et zinc). Ils ont

une réaction assez acide (pH compris entre 5,5 et 6) qui est favorable au caféier.

Ces sols, riches en sables ou en pseudo-sables, et à structure fragile, sont très sensibles à l'érosion et, compte tenu des pentes, nécessiteront impérativement une *protection anti-érosive*. Celle-ci devra associer les techniques biologiques (plantations en courbes de niveau, paillage ou plantes de couverture dans les interlignes) et les procédés mécaniques (banquettes ou levées, réseau de diversion des eaux de ruissellement en excès, chemins d'eau...) ; il faudra étudier soigneusement le tracé des routes et chemins d'exploitation.

Par ailleurs, le vent de saison sèche constitue une contrainte indiscutable dans cette région : il élève l'ETP, peut occasionner des dégâts mécaniques sur les jeunes plants, entraîner l'infestation par les maladies cryptogamiques (*fusariose* en particulier), et favoriser la propagation des feux. L'aménagement des blocs de culture devra donc prévoir un réseau assez serré de *haies brise-vent* (*Grevillea*).

Enfin, les conditions climatiques de la région (saison sèche de mai à novembre) nécessiteront une *irrigation d'appoint* : deux mois à deux mois et demi après la fin des pluies (début mai à mi-juillet), et deux mois avant le début de la saison des pluies (mi-septembre à mi-novembre). La période intermédiaire, correspondant à la vie végétative ralentie de la plante, ne sera pas irriguée, ce qui favorisera l'induction florale.

Ce sera sans doute l'*irrigation localisée* qui sera la mieux adaptée aux conditions de milieu et de culture. Les disponibilités en eaux courantes ne permettent d'irriguer par *simple pompage dans la Rupashe*, qu'environ 500 hectares ; cela sera donc insuffisant au bout d'un certain temps, et il faudra alors construire de *petites retenues* en travers de certains bas-fonds. L'implantation de ces ouvrages devra être soigneusement étudiée ; l'aménagement hydraulique risque en effet d'être le plus délicat à résoudre compte tenu de la physionomie particulière assez chahutée du terrain.

Dans l'optique d'une *extension* postérieure éventuelle des blocs de culture, la seule possibilité se trouve à l'ouest du périmètre cartographié, sur la rive gauche de la Chizimba, puis dans la région de Msese (école) même. De très bonnes terres à topographie favorable y existent. Cependant ces régions sont déjà cultivées, comme d'ailleurs, mais dans une moindre mesure, les terres du périmètre étudié ; les *problèmes fonciers* pourront donc être des obstacles.

BIBLIOGRAPHY

- AGNEW (S), STUBBS (M.), 1972 - Malawi in maps.
University of London. Press Ltd.
- CARTER (G. S.), BENNETT (J. D.), 1973 - The geology and mineral resources of Malawi. Second revised Edition.
Geological survey Department. Bulletin n° 36. 1975.
- CHAPMAN (J. D.), WHITE (F.), 1970 - The evergreen forests of Malawi.
Commonwealth forestry Institute. University of Oxford.
- COMMONWEALTH DEVELOPMENT CORPORATION (CDC), 1977 - Report on proposals for the development of coffee in Northern Malawi. July 1977.
- DIXEY (F.), 1937 - The Early cretaceous and Miocene peneplains of Nyasaland, and their relation to the Rift Valley.
Geological Magazine, volume LXXIV, n° II. February 1937.
- HUNTING technical Services Ltd, 1981 - National and Shire irrigation study. Estate diversification. June 1981.
- JACKSON (G.), 1954 - Preliminary ecological survey of Nyasaland. Proceedings of the second Inter-african Soils Conference, Leopoldville, 9-14 August 1954. "
Belgian Congo. Volume I. Document 50. pp 679-690.
- JALOGNE (A), 1981 - Identification of a coffee production complex.
Mission Report. Press (Holdings) Ltd. SODETEG.
- LIND (M.), MORRISON (M. E. S.), 1974 - East African vegetation.
Longman. London.
- LISTER (L. A.), 1967 - Erosion surfaces in Malawi.
Rec. Geol. Surv. Malawi, 7, 1965 (1967), pp 15-28.
- MINISTRY OF AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 1976 - Soil types and Land suitability for coffee in the Northern region of Malawi.
Planning unit. Agro-Economic Survey, Report n° 20 August 1976.
- PETERS (E. R.) 1969 - The geology of the Kasungu area.
Geological survey department. Bulletin n° 25 . 1969.
- PETERS (E. R.) 1975 - The geology of the South viphya area.
Geological survey Department. Bulletin n° 36. 1975.

- PIKE (J. G.), REMMINGTON (G. T.), 1965 - Malawi, a geographical study.
Oxford University press-London.
- RAUNET (M.), 1979 - Importance et interactions des processus géochimiques, hydrologiques et biologiques (termites) sur les surfaces d'aplanissement tropicales granito-gneissiques.
"L'Agronomie Tropicale" XXXIV - 1 - Janvier - Mars 1979 pp 40-53.
- SNAXTON (T. F.), HALL (J. M.) - Handbook of recommended Practices for conservation of water and soil in tea areas of Malawi.
- YOUNG (A.), BROWN (P.), 1965 - The physical environment of central Malawi with special reference to Soils and Agriculture.
Malawi Government, Zomba.
- YOUNG (A.), STEPHEN (I.), 1965 - Rock weathering and soil formation on high altitude plateaux of Malawi.
Journal of Soil Science, vol. 16, n° 2, 1965?
- WILLIAMSON (J.), 1955 - Useful Plants of Malawi.
Printed and published by the Government printer, Zomba, Malawi.
- ZIMBABWE COFFEE GROWERS ASSOCIATION, 1980 - Coffee Handbook (Zimbabwe).
Cannon Press, POBOX 3600 - SALISBURY.

A N N E X E S
DESCRIPTIONS ET ANALYSES
DE SOL

PROFILE MW 1

Unit 5 : Deep red ferrallitic soil.

0 - 15 cm : Humic horizon. Reddish brown (2,5 YR 4/4) ; no mottles ; fine roots very abundant ; no coarse fragments ; friable ; sandy silt ; (pseudo-sands) ; fine to medium sub-angular blocky structure ; granular boundary to :

15 - 50 cm : Top of B horizon. Red (2,5 YR 4/6) ; no mottles ; no coarse fragments ; medium weak sub-angular blocky structure ; friable ; porous ; silty loam (pseudo-sands) ; abundant fine and medium roots ; termite activity (cavities). Diffuse boundary to :

50 - 180 (and more cm) : B horizon. Red (2,5 YR 4/6 to 5/6) ; no mottles ; abundant fine roots ; no coarse fragment ; very homogeneous ; sandy silt (pseudo-sands) ; friable ; poorly structured ; porous ; low bulk density.

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.1

SAMPLE		Nº	MW.11	MW.12	MW.13
DEPTH		cm	0-15	15-50	50-150
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.31	1.27	1.36
	Humidity at pF 4,2	%	13.9	14.3	15.9
	Humidity at pF 3,0	%	18.1	18.2	19.4
	Humidity at pF 2,5	%	19.3	19.3	20.8
	Available water	mm/dm	4.2	3.9	3.5
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	19.9	15.4	17.9
	Fine silt (2-20 µ)	%	8.0	8.2	9.1
	Coarse silt (20-50 µ)	%	8.0	9.4	14.1
	Fine sand (50-200 µ)	%	34.1	38.8	39.0
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	29.9	28.1	20.0
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	2.08	1.10	0.70
	Carbon	%	1.21	0.64	0.41
	Total nitrogen	%	0.82	0.50	0.35
	C/N ratio		15	13	12
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	669	589	427
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	44	23	13
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	0.58	0.09	0.06
	" Mg	mé%	0.17	0.05	0.02
	" K	mé%	0.12	0.03	0.01
	" Na	mé%	0.02	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	0.89	0.18	0.10
	Cation exchange capacity	mé%	7.23	5.37	4.09
	Base saturation	%	12	3	2
	pH (H ₂ O)		5.60	5.40	5.30

PROFILE MW 2

Unit 7 : Truncated ferrallitic soil (old pedogenesis) ; present-time evolution ; lixiviated tropical ferruginous soil.

- 0 - 10 cm : humic horizon. Brown (7,5 YR 5/4) ; no mottles ; abundant fine and medium roots ; no coarse fragments ; silt ; medium sub angular blocky structure ; friable. Clear boundary to :
- 10 - 50 cm : lixiviated, washed bleached horizon. Light brown (7,5 YR 6/4) ; no mottles ; some rare fine roots ; massive structure ; no cracks ; no coarse fragments ; silt (fine sands) ; compact ; tubular porosity ; clear to granular smooth boundary to :
- 50 - 80 cm : transition horizon, in process of degradation and lixiviation. Juxtaposition of colours : patches of undegraded alteration horizon (red to light red, 10 R 5/6) and vertical glosses of bleached degraded material (light brown : 7,5 YR 6/4) ; medium sub angular blocky structure ; silt to silty-clay ; no coarse fragments ; very few fine roots ; diffuse smooth boundary to :
- 80 - 150 cm (and more) : alteration horizon ; light red (10 R 5/6) ; pebbles of quartz vein ; abundant fine mica flakes ; silty-clay to clay silt ; medium angular blocky structure ; compact ; no roots.

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.2

SAMPLE		N°	MW.21	MW.22	MW.23
DEPTH		cm	0-10	10-50	80-150
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.39	1.38	1.49
	Humidity at pF 4,2	%	13.2	12.5	18.4
	Humidity at pF 3,0	%	20.2	18.3	24.1
	Humidity at pF 2,5	%	21.5	19.9	26.8
	Available water	mm/dm	7.0	5.8	5.7
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 μ)	%	30.6	35.5	38.0
	Fine silt (2-20 μ)	%	9.1	11.3	16.2
	Coarse silt (20-50 μ)	%	6.3	7.8	9.4
	Fine sand (50-200 μ)	%	27.2	24.7	21.4
	Coarse sand (200-2000 μ)	%	26.8	22.7	15.0
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	2.37	1.13	0.30
	Carbon	%	1.38	0.66	0.18
	Total nitrogen	% _o	1.09	0.56	0.20
	C/N ratio		13	12	9
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	419	362	460
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	15	7	30
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	0.27	0.06	0.20
	" Mg	mé%	0.10	0.01	0.01
	" K	mé%	0.21	0.04	0.02
	" Na	mé%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	0.59	0.12	0.24
	Cation exchange capacity	mé%	4.83	3.40	4.60
	Base saturation	%	12	4	5
	pH (H ₂ O)		5.35	5.55	5.60

PROFIL MW 3

Unit 5 : Deep red ferralitic soil.

- 0 - 15 cm : humic horizon. Dark reddish brown (2,5 YR 3/4) ; no mottles ; fine and medium roots very abundant ; silt to silt-clay; no coarse fragments ; medium sub angular blocky structure ; friable ; clear boundary to :
- 15 - 40 cm : of B horizon ; red to reddish-brown (2,5 YR 4/6 to 4/4) ; no mottles ; abundant fine roots ; sandy-silt (pseudo-sands) ; no coarse fragments ; poorly structured (sub angular blocky) ; friable ; termite activity ; porous ; gradual boundary to :
- 40 - 150 cm (and more) : B horizon ; red (2,5 YR 4/6) ; no mottles ; fine roots ; silty but no coarse fragments ; poorly structured, but friable and porous. Termite activity:

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.3

SAMPLE		Nº	MW.31	MW.32	MW.33
DEPTH		cm	0-15	15-40	40-100
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.46	1.38	1.37
	Humidity at pF 4,2	%	13.4	14.0	18.4
	Humidity at pF 3,0	%	17.9	18.4	22.7
	Humidity at pF 2,5	%	19.2	20.5	23.6
	Available water	mm/dm	4.5	4.4	4.3
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	23.1	19.3	22.5
	Fine silt (2-20 µ)	%	10.6	10.4	8.1
	Coarse silt (20-50 µ)	%	6.7	10.9	7.8
	Fine sand (50-200 µ)	%	26.2	31.8	37.5
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	33.4	27.6	24.0
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	2.11	0.82	0.55
	Carbon	%	1.23	0.48	0.32
	Total nitrogen	%	0.96	0.46	0.23
	C/N ratio		13	10	14
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	953	770	828
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	130	50	44
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	0.48	0.12	0.36
	" Mg	mé%	0.61	0.94	0.03
	" K	mé%	0.42	0.32	0.42
	" Na	mé%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	1.52	1.39	0.82
	Cation exchange capacity	mé%	6.12	4.34	3.96
	Base saturation	%	25	32	21
	pH (H ₂ O)		6.10	6.35	6.20

PROFILE MW 4

Unit 5 : deep red ferrallitic soil.

0 - 10 cm : humic horizon. Reddish brown (2,5 YR 4/4) ; no mottles ; fine and medium roots very abundants ; silty to clayey-silt ; no coarse fragment ; medium sub angular blocky structure ; friable ; clear boundary to :

10 - 50 cm : top of B horizon. Red (2,5 YR 4/6) ; no mottles ; abundant fine roots ; silty ; to loamy clay sand ; no coarse fragments ; poorly structured ; but friable and porous ; low bulk density ; termite activity ; diffuse boundary to :

50 - 120 cm (and more) : B horizon. Red (2,5 YR 4/8) ; no mottles ; fine roots ; loamy clay sand ; no coarse fragments ; poorly structured but friable and porous (pseudo-sands) ; low bulk density ; termite activity.

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.4

SAMPLE		Nº	MW.41	MW.42	MW.43
DEPTH		cm	0-10	10-50	50-120
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.20	1.27	1.19
	Humidity at pF 4,2	%	18.0	19.0	20.4
	Humidity at pF 3,0	%	24.7	23.0	24.3
	Humidity at pF 2,5	%	26.4	24.4	25.7
	Available water	mm/cm	6.7	4.0	3.9
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	31.0	23.0	33.0
	Fine silt (2-20 µ)	%	12.3	10.5	11.3
	Coarse silt (20-50 µ)	%	7.8	13.0	10.1
	Fine sand (50-200 µ)	%	22.8	35.8	29.1
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	26.8	17.7	16.4
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	3.92	1.03	0.55
	Carbon	%	2.28	0.60	0.32
	Total nitrogen	%	1.38	0.51	0.26
	C/N ratio		16	12	12
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	979	774	693
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	78	29	20
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	2.00	0.18	0.07
	" Mg	mé%	1.25	0.25	0.03
	" K	mé%	0.29	0.10	0.23
	" Na	mé%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	3.55	0.54	0.34
	Cation exchange capacity	mé%	11.94	5.79	4.78
	Base saturation	%	30	9	7
	pH (H ₂ O)		5.80	5.70	5.95

PROFIL MW 5

Unit 6 : Slightly truncated ferrallitic soil.

- 0 - 15 cm : humic horizon. Reddish brown (5 YR 4/3) ; no mottles ; very abundant fine roots ; sandy clay loam ; no coarse fragments ; medium to fine sub angular blocky structure ; friable ; clear boundary to :
- 15 - 60 cm : top of B horizon ; yellowish red (5YR4/6) ; no mottles ; sandy-clay- loam ; (pseudo-sands) ; abundant fine roots ; medium angular blocky structure ; no coarse fragments ; termite activity (cavities) ; gradual boundary to :
- 60 - 120 cm : B horizon reddish brown (2,5 YR 4/4) ; no mottles ; some fine roots ; sandy clay-loam to sand loam ; medium angular blocky structure ; no coarse fragments ;

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.5

SAMPLE		Nº	MW.51	MW.52	MW.53
DEPTH		cm	0-15	15-60	60-120
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.33	1.35	1.49
	Humidity at pF 4,2	%	16.3	15.6	18.3
	Humidity at pF 3,0	%	20.5	18.2	21.9
	Humidity at pF 2,5	%	21.1	18.8	22.9
	Available water	mm/dm	4.2	2.6	3.6
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	38.9	37.3	36.1
	Fine silt (2-20 µ)	%	7.2	6.8	9.3
	Coarse silt (20-50 µ)	%	4.0	3.6	6.8
	Fine sand (50-200 µ)	%	16.4	15.2	20.1
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	33.6	37.0	27.6
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	3.76	2.06	0.79
	Carbon	%	2.19	1.20	0.46
	Total nitrogen	%	1.35	0.76	0.39
	C/N ratio		16	16	12
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	591	441	550
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	21	10	21
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	1.89	0.12	0.25
	" Mg	mé%	2.12	0.10	0.03
	" K	mé%	0.25	0.11	0.02
	" Na	mé%	0.01	0.02	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	4.27	0.35	0.31
	Cation exchange capacity	mé%	11.33	7.57	5.14
	Base saturation	%	38	5	6
	pH (H ₂ O)		6.10	5.55	5.75

PROFILE MW.6

Unit 5 : Deep red ferrallitic soil.

0 - 15 cm : Humic horizon ; reddish brown (2,5 YR 4/4) ; no mottles ; very abundant fine roots ; fine sub angular blocky structure ; sandyclay - loam ; no coarse fragments ; friable ; clear boundary to :

15 - 60 cm : top of B horizon ; red (2,5 YR 4/6) ; no mottles ; fine roots ; medium sub angular blocky structure ; no cracks ; sandy - loam (pseudo sands) ; no coarse fragments ; friable ; porous ; low bulk density ; termite activity ; diffuse boundary to :

60 - 150 cm : B horizon ; red (2,5 YR 4/8) ; no mottles ; fine roots ; poorly structured ; but friable ; porous ; bulk density ; termite activity ; sandy - clay - loam ; no coarse fragments ; abrupt boundary to :

150 - 180 cm : quartz stone-line.

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.6

SAMPLE		Nº	MW.61	MW.62	MW.63
DEPTH		cm	0-15	15-60	60-120
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.42	1.30	1.32
	Humidity at pF 4,2	%	16.7	15.1	16.9
	Humidity at pF 3,0	%	22.0	19.5	21.0
	Humidity at pF 2,5	%	23.0	20.7	23.7
	Available water	mm/dm	5.3	4.4	4.1
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	31.2	19.7	11.2
	Fine silt (2-20 µ)	%	15.3	12.1	10.9
	Coarse silt (20-50 µ)	%	9.1	10.2	16.1
	Fine sand (50-200 µ)	%	24.4	31.1	38.7
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	20.0	27.0	23.1
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	3.71	2.21	0.68
	Carbon	%	2.16	1.29	0.40
	Total nitrogen	%	1.38	0.94	0.31
	C/N ratio		16	14	13
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	632	571	456
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	24	12	10
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	0.28	0.03	0.02
	" Mg	mé%	0.07	0.02	0.01
	" K	mé%	0.17	0.05	0.04
	" Na	mé%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	0.53	0.11	0.08
	Cation exchange capacity	mé%	9.00	6.82	4.30
	Base saturation	%	6	2	2
	pH (H ₂ O)		5.65	5.45	5.75

PROFILE MW.7

Unit 7 : Truncated ferrallitic soil

present-time evolution : lixiviation, and bleaching in the upper part of the soil.

- 0 - 15 cm : humic horizon - light brownish gray (10 YR 6/2) ;
no mottles ; fine roots ; sandy - loam to sandy - clay - loam ; no coarse fragments ; weak fine sub angular blocky structure ; friable ; clear boundary to :
- 15 - 70 cm : lixiviated (clay degradation), bleached horizon ; light yellowish brown (10 YR 6/4) ; no mottles ; some rare fine roots ; massive structure ; no cracks ; sandy-loam ; no coarse fragments ; compact ; tubular porosity ; gradual boundary to :
- 70 - 120 cm : transition horizon, in process of clay - degradation and lixiviation ; patches of indegraded alteration horizon (yellowish red ; 5 YR 5/8) and vertical strips of bleached degraded material (light yellowish brown ; 10 YR 6/4) ; no roots ; some quartz fragments (quartz vein) ; structureless ; no cracks ; sandy - clay - loam ; compact ; gradual boundary to :
- 120 - 170 cm (and more) : alteration horizon ; yellowish red (5 YR 5/8) ; fine mica flakes ; no roots ; structureless ; compact ; sandy - clay to sandy - clay - loam ; abundant quartz fragment (quartz vein).

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.7

SAMPLE		Nº	MW.71	MW.72	MW.73
DEPTH		cm	0-15	15-70	70-120
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.39	1.33	1.66
	Humidity at pF 4,2	%	10.6	7.8	10.3
	Humidity at pF 3,0	%	23.4	20.2	18.9
	Humidity at pF 2,5	%	25.7	23.3	21.0
	Available water	mm/dm	12.8	12.4	7.6
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	24.5	20.3	26.0
	Fine silt (2-20 µ)	%	12.7	14.5	14.8
	Coarse silt (20-50 µ)	%	28.5	33.2	27.0
	Fine sand (50-200 µ)	%	24.0	24.2	24.9
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	10.2	7.8	7.2
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	3.01	1.04	0.25
	Carbon	%	1.75	0.61	0.15
	Total nitrogen	%	1.18	0.49	0.18
	C/N ratio		15	12	8
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	278	193	168
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	17	10	9
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	0.41	0.02	0.03
	" Mg	mé%	0.25	0.01	0.01
	" K	mé%	0.15	0.02	0.06
	" Na	mé%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	0.82	0.06	0.11
	Cation exchange capacity	mé%	7.30	4.07	4.28
	Base saturation	%	11	1	3
	pH (H ₂ O)		5.40	5.45	5.35

PROFILE MW.8

Unit 6 : Slightly truncated ferrallitic soil.

- 0 - 15 cm : humic horizon ; dark reddish brown (5 YR 4/2) ; no mottles ; fine roots ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; sub angular blocky structure ; friable ; clear boundary to :
- 15 - 30 cm : slightly degraded (clay degradation) horizon ; reddish brown (5 YR 5/3) ; no mottles ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; medium angular blocky structure ; some fine roots ; friable ; clear to gradual boundary to :
- 30 - 100 cm : B horizon ; reddish brown (5 YR 5/4) ; no mottles ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; medium angular blocky structure ; some fine roots ; slightly compact.

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.8

SAMPLE		Nº	MW.81	MW.82	MW.83
DEPTH		cm	0-15	15-30	30-100
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.41	1.48	1.49
	Humidity at pF 4,2	%	15.2	13.7	16.8
	Humidity at pF 3,0	%	22.8	19.7	22.0
	Humidity at pF 2,5	%	23.9	20.9	24.8
	Available water	mm/dm	7.6	6.0	5.2
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	37.7	36.7	36.9
	Fine silt (2-20 µ)	%	9.0	8.0	12.4
	Coarse silt (20-50 µ)	%	10.3	9.3	10.7
	Fine sand (50-200 µ)	%	23.4	26.4	23.9
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	19.5	19.6	16.1
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	3.18	2.08	0.55
	Carbon	%	1.85	1.21	0.32
	Total nitrogen	%	1.24	1.47	0.31
	C/N ratio		13	10	10
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	449	385	368
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	16	11	12
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	me%	2.04	0.50	0.32
	" Mg	me%	0.85	0.37	0.37
	" K	me%	0.32	0.19	0.08
	" Na	me%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	me%	3.22	1.07	0.78
	Cation exchange capacity	me%	6.92	5.85	4.51
	Base saturation	%	47	18	17
	pH (H ₂ O)		6.35	6/05	5.85

PROFILE MW.9

Unit 6 : slightly truncated ferrallitic soil.

- 0 - 10 cm : humic horizon ; dark reddish gray (5YR 4/2) ; no mottles ; many fine roots ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; fine to medium sub-angular blocky structure ; friable ; clear boundary to :
- 10 - 50 cm : top of B horizon ; yellowish red (5 YR 5/6) ; no mottles ; fine roots ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; medium angular blocky structure ; friable ; termite activity ; diffuse boundary to :
- 50 - 180 cm : B horizon ; yellowish red (5 YR 5/8) ; no mottles ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; some fine roots ; medium angular blocky structure ; slightly compact.

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.9

SAMPLE		Nº	MW.91	MW.92	MW.93
DEPTH		cm	0-10	10-50	50-120
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.46	1.40	1.33
	Humidity at pF 4,2	%	13.0	11.3	13.6
	Humidity at pF 3,0	%	21.1	17.4	18.5
	Humidity at pF 2,5	%	22.7	19.8	21.3
	Available water	mm/dm	8.1	6.1	4.9
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	31.9	32.5	34.4
	Fine silt (2-20 µ)	%	8.5	9.0	10.6
	Coarse silt (20-50 µ)	%	24.3	22.4	22.6
	Fine sand (50-200 µ)	%	24.6	25.6	24.7
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	10.7	10.6	7.8
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	2.75	1.03	0.53
	Carbon	%	1.60	0.61	0.31
	Total nitrogen	%	1.09	0.43	0.29
	C/N ratio		15	14	11
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	455	393	402
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	18	10	14
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	0.48	0.03	0.06
	" Mg	mé%	0.20	0.01	0.01
	" K	mé%	0.20	0.02	0.02
	" Na	mé%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	0.88	0.07	0.10
	Cation exchange capacity	mé%	6.94	5.29	4.42
	Base saturation	%	13	1	2
	pH (H ₂ O)		5.40	5.55	5.55

PROFILE MW.10

Unit 4 : ferrallitic soil of lower granitic domes.

0 - 15 cm : humic horizon ; reddish brown (5 YR 4/4) ; no mottles ; many fine roots ; sandy loam ; no coarse fragments ; weak sub angular blocky structure ; friable ; clear boundary to :

15 - 60 cm : top of B horizon ; yellowish red (5 YR 4/6) ; no mottles ; fine roots ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; massive ; structureless ; gradual boundary to :

60 - 150 cm : B horizon ; yellowish red (5 YR 5/8) ; no mottles ; homogeneous ; sandy-clay-loam ; no coarse fragments ; massive ; structureless ; no cracks.

ANALYTIC DATA

PROFILE : MW.10

SAMPLE		Nº	MW.101	MW.102	MW.103
DEPTH		cm	0-15	15-60	60-150
HYDRIC PROPERTIES	Bulk density		1.39	1.52	1.26
	Humidity at pF 4,2	%	12.4	16.5	17.4
	Humidity at pF 3,0	%	18.3	20.1	21.8
	Humidity at pF 2,5	%	19.8	22.4	23.7
	Available water	mm/dm	5.9	3.6	4.4
GRAIN SIZE DISTRIBUTION	Clay (0-2 µ)	%	27.2	26.8	25.9
	Fine silt (2-20 µ)	%	7.5	8.0	9.5
	Coarse silt (20-50 µ)	%	7.6	8.8	9.9
	Fine sand (50-200 µ)	%	27.4	32.7	30.5
	Coarse sand (200-2000 µ)	%	30.3	23.8	24.2
ORGANIC MATTER	Organic matter	%	3.18	0.91	0.55
	Carbon	%	1.85	0.53	0.32
	Total nitrogen	% _o	1.24	0.45	0.27
	C/N ratio		15	12	12
PHOSPHORUS	Total phosphorus	ppm	1323	898	868
	Available phosphorus (OLSEN)	ppm	268	78	73
BASE EXCHANGE COMPLEX	Exchangeable Ca	mé%	5.50	0.17	0.12
	" Mg	mé%	2.44	0.70	1.13
	" K	mé%	0.37	0.19	0.36
	" Na	mé%	0.01	0.01	0.01
	Total exchangeable bases	mé%	8.32	1.07	1.62
	Cation exchange capacity	mé%	9.81	4.72	4.20
	Base saturation	%	85	23	39
	pH (H ₂ O)		6.95	6.00	6.20